



## BOLETÍN TÉCNICO #20

### EDITORIAL

Siempre pensando en la seguridad y profesionalismo de nuestros ingenieros, Aceros Arequipa presenta en esta 20° edición información técnica especializada del sector construcción. El primer artículo nos propone alternativas para aplicar el concepto del Sistema Last Planner (LPS) apoyado con el modelado BIM.

El segundo artículo presenta recomendaciones esenciales que facilitarán una correcta implementación del LPS en la fase de acabados de edificios de vivienda y mejoren el sistema de producción.

En el tercer artículo, además, dedicamos un espacio a la importancia de la validación constructiva como estrategia de inclusión del constructor, subcontratistas y proveedores que permitirá la conversión del modelo BIM a uno de Producción acelerando la industrialización y automatización del mismo.

Estate atento a los próximos boletines que lanzaremos. Aceros Arequipa, siempre brindando la mejor información a nuestros profesionales de la construcción.

### CONTENIDO

**02**

Gestión visual del Lookahead y la programación semanal mediante el BIM

*PABLO ORIHUELA, LUIS CANCHAYA, EDINSON RODRÍGUEZ*

**07**

Implementación del Last Planner System en la etapa de acabados de un proyecto de viviendas

*DANNY MURGUÍA SÁNCHEZ*

**12**

Participación de los proveedores y subcontratistas en el mejoramiento de los modelos BIM para la producción

*FELIPE QUIROZ*



Comentarios y sugerencias a [construccionintegral@aasa.com.pe](mailto:construccionintegral@aasa.com.pe)

# GESTIÓN VISUAL DEL LOOKAHEAD Y LA PROGRAMACIÓN SEMANAL MEDIANTE EL BIM

Pablo Orihuela, Luis Canchaya, Edinson Rodríguez  
MOTIVA S.A.  
porihuela@motiva.com.pe

El *Last Planner System (LPS)* probablemente sea una de las técnicas de mayor aceptación por las empresas constructoras que comienzan a adoptar la filosofía Lean Construction, esta nos dice que la planificación de las obras se debe realizar conjuntamente con todos los involucrados en ella; es decir, con el maestro, con los principales proveedores, con los subcontratistas, con los responsables de cuadrilla y los propios obreros que ejecutan la última asignación, son todos ellos a quienes se les denomina los *last planners*. En las reuniones de *last planner* muchos de los involucrados (a todo nivel), no llegan a visualizar adecuadamente los elementos de una estructura sino hasta que esta es construida, por ello los medios que se usan para la comunicación durante estas coordinaciones deben lograr una trasmisión precisa, sencilla, clara y amigable.

El presente artículo, es un resumen del artículo original de los mismos autores (Orihuela et.al. 2016), el cual propone el uso de la Gestión Visual como apoyo a la comunicación con los *last planners*, esta visualización se genera desde un modelo BIM el cual se va completando de acuerdo a la secuencia del LPS; de esta forma vinculamos dos herramientas poderosas: El modelado 3D y 4D de la filosofía BIM y el Last Planner de la filosofía Lean Construction; generando una sinergia al ser usadas en forma conjunta.

## LA SINERGIA LEAN Y BIM

*Lean Construction* y *Building Information Modeling (BIM)*, están efectuando cambios fundamentales en la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción; mientras que los dos son conceptualmente independientes y separados, parece que hay sinergias entre ellas que se extienden más allá de la naturaleza esencialmente circunstancial de su madurez simultánea (Sacks et al, 2011).

El uso de la metodología BIM conlleva a reducir pérdidas y re-procesos en las diferentes fases de un proyecto: en la Definición del Proyecto, permite evaluar con mayor eficiencia los diferentes partidos arquitectónicos; en el Diseño, nos facilita el trabajo multidisciplinario evitando las iteraciones negativas y re-procesos; en el Abastecimiento, nos ayuda con los metrados y presupuestos; en la Ejecución y Control, nos ayuda con la visualización de los procesos y la mejora de comunicación con los last-planners; y en el Uso, nos puede facilitar la capacitación de los usuarios en el mantenimiento. Es por eso que existe una estrecha relación entre LEAN y BIM.

La Figura 1 presenta un resumen de esta sinergia que resulta de vincular las etapas del LPS con diferentes niveles de un modelo BIM.

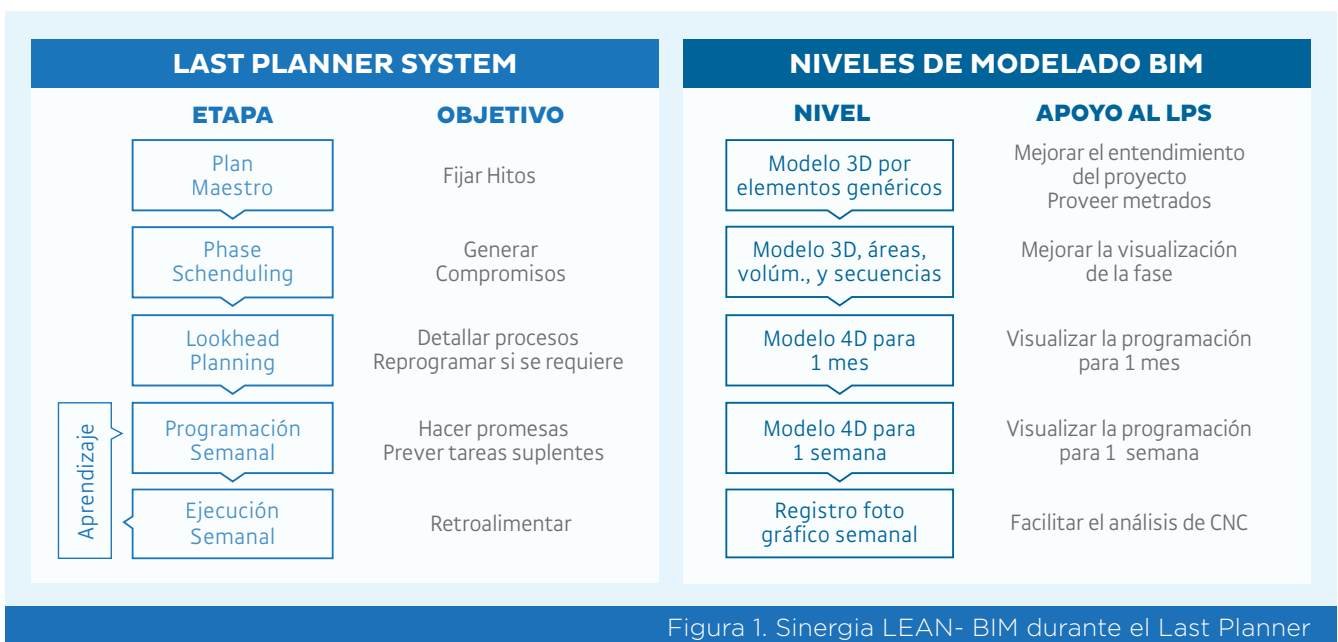


Figura 1. Sinergia LEAN- BIM durante el Last Planner

## LOOKAHEAD VISUAL

Para el uso del modelo en el Lookahead, este ya debe incorporar las fechas de ejecución de la secuencia elegida, de esta manera ya se convierte en un modelo 4D, con el que se puede simular la programación con un horizonte de 4 a 6 semanas.

La Figura 2 nos muestra un típico documento de programación por lotes de producción, en el cual se usan códigos y colores para identificar la localización y las fechas de los trabajos programados para las siguientes 4 semanas.

ACTIVIDAD	SEMANA 12						SEMANA 13						SEMANA 14						SEMANA 15						
	L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S	L	M	M	J	V	S	
	16/03	17/03	18/03	19/03	20/03	21/03	23/03	24/03	25/03	26/03	27/03	28/03	30/03	31/03	01/04	02/04	03/04	04/04	06/04	07/04	08/04	09/04	10/04	11/04	
<b>SUPER - ESTRUCTURAS</b>																									
ACERO PLACAS-COL.	F4+5	F1+5	F2+6	F3+6	F4+6		F1+7	F2+7	F3+7	F4+7	F1+8		F2+7	F3+8	F4+8	F1+9	F2+9		F3+9	F4+9	F1+10	F2+8	F3+10		
ENCOF. PLACAS-COL.	F3+5	F4+5	F1+6	F2+6	F3+6		F4+6	F1+7	F2+7	F3+7	F4+7		F1+8	F2+8	F3+8	F4+8	F1+9		F2+9	F3+9	F4+9	F1+10	F2+8		
CONCRETO PLACAS-COL.	F3+5	F4+5	F1+6	F2+6	F3+6		F4+6	F1+7	F2+7	F3+7	F4+7		F1+8	F2+8	F3+8	F4+8	F1+9		F2+9	F3+9	F4+9	F1+10	F2+8		
ACERO VIGA	F2+5	F3+5	F4+5	F1+6	F2+6		F3+6	F4+6	F1+7	F2+7	F3+7		F4+7	F1+8	F2+8	F3+8	F4+8		F1+9	F2+9	F3+9	F4+9	F1+10		
ENCOFRADO VIGA	F2+5	F3+5	F4+5	F1+6	F2+6		F3+6	F4+6	F1+7	F2+7	F3+7		F4+7	F1+8	F2+8	F3+8	F4+8		F1+9	F2+9	F3+9	F4+9	F1+10		
ENCOFRADO LOSA	F2+5	F3+5	F4+5	F1+6	F2+6		F3+6	F4+6	F1+7	F2+7	F3+7		F4+7	F1+8	F2+8	F3+8	F4+8		F1+9	F2+9	F3+9	F4+9	F1+10		
LADRILLO TECHO	F1+5	F2+5	F3+5	F4+5	F1+6		F2+6	F3+6	F4+6	F1+7	F2+7		F3+7	F4+7	F1+8	F2+8	F3+8		F4+8	F1+9	F2+9	F3+9	F4+9		
ACERO LOSA	F1+5	F2+5	F3+5	F4+5	F1+6		F2+6	F3+6	F4+6	F1+7	F2+7		F3+7	F4+7	F1+8	F2+8	F3+8		F4+8	F1+9	F2+9	F3+9	F4+9		
IIEE - IIEE	F1+5	F2+5	F3+5	F4+5	F1+6		F2+6	F3+6	F4+6	F1+7	F2+7		F3+7	F4+7	F1+8	F2+8	F3+8		F4+8	F1+9	F2+9	F3+9	F4+9		
CONCRETO HORIZ.	F1+5	F2+5	F3+5	F4+5	F1+6		F2+6	F3+6	F4+6	F1+7	F2+7		F3+7	F4+7	F1+8	F2+8	F3+8		F4+8	F1+9	F2+9	F3+9	F4+9		

Figura 2. Típico formato del Lookahead

Es fácil ver que la lectura de este documento no es muy amigable, se requiere hacer correlaciones mentales para comprender cabalmente lo que este documento especifica. Además, este formato es válido cuando los límites físicos de los lotes de producción para cada cuadrilla coinciden exactamente entre sí, sin embargo en la práctica eso no es frecuente, por ejemplo, si ocurre que las áreas de encofrado

horizontales tengan que extenderse más allá de los límites del vaciado de concreto, esta tabla ya no es aplicable.

La Figura 3, muestra el Lookahead Visual, con las fechas establecidas de avance, tanto de acero, como de encofrado y concreto, el cual es mucho más amigable y sencillo de comprender.

	DÍA 17/03	DÍA 18/03	DÍA 19/03	DÍA 20/03	DÍA 23/03	DÍA 24/03	DÍA 25/03
ACERO VERT. / ISE							
ENCOF Y CONC. VERT							
ACERO Y ECONF HORIZONTAL							
CONCRETO HORIZONTAL							

Figura 3. Formato Visual del Lookahead

## PLANIFICACIÓN SEMANAL VISUAL

Todo el proceso del LPS se plasma en la Planificación Semanal, aquí se lista día a día las tareas que han sido liberadas de sus restricciones y que estarían listas para su ejecución, por lo que su comunicación a los last planners debe ser muy efectiva y amigable.

Se han probado diferentes alternativas usando diversos formatos y niveles de detalle de la información a entregar,

de todas ellas, la más sencilla resultó ser la más efectiva, es decir sólo mostrar lo que denominamos “micro hitos semanales” que, en esta fase de pórticos, están dados por los vaciados de concreto. Tal como se explica en la Figura 4, la programación de la fecha y hora del vaciado de concreto de los elementos, generan de forma natural el “pull scheduling” o “programación reversa” en las demás cuadrillas.

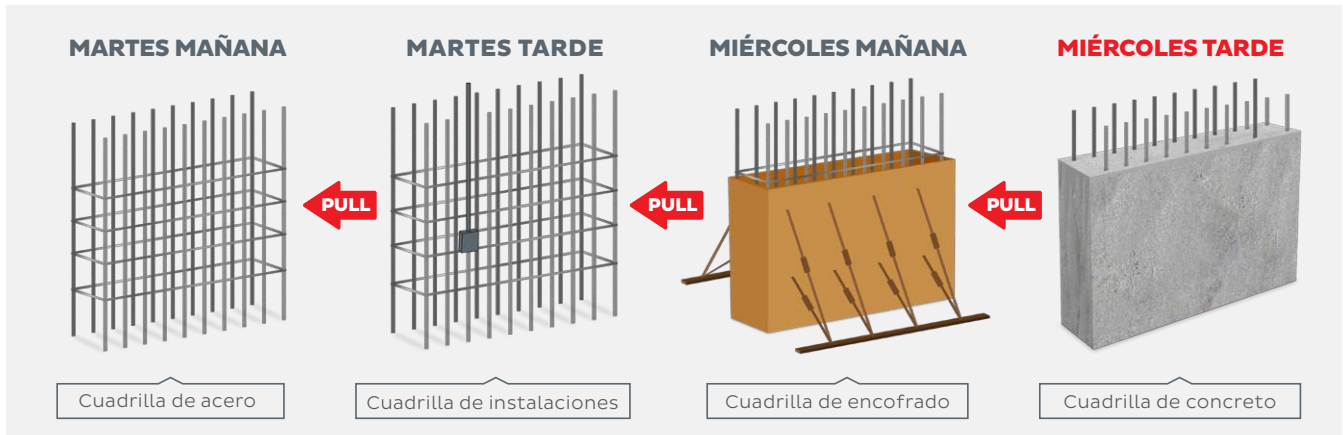


Figura 4. Micro Hitos Semanales y programación reversa

La Figura 5 muestra la alternativa que ha tenido mayor acogida por los obreros de las cuadrillas encargadas de los pórticos, la cual visualiza la programación semanal en una hoja A4 dividida en 6 espacios, un espacio para cada día laborable. Los colores causan un efecto psicológico útil en el ser humano, permitiéndole obtener más información y

de forma más rápida (Tezel et al, 2010). Asimismo, para lograr una mejor comunicación, es importante manejar estándares para las herramientas de gestión visual que usemos en términos de contenido y formato, incluyendo la asignación de colores (O'Connor y Swain, 2013).

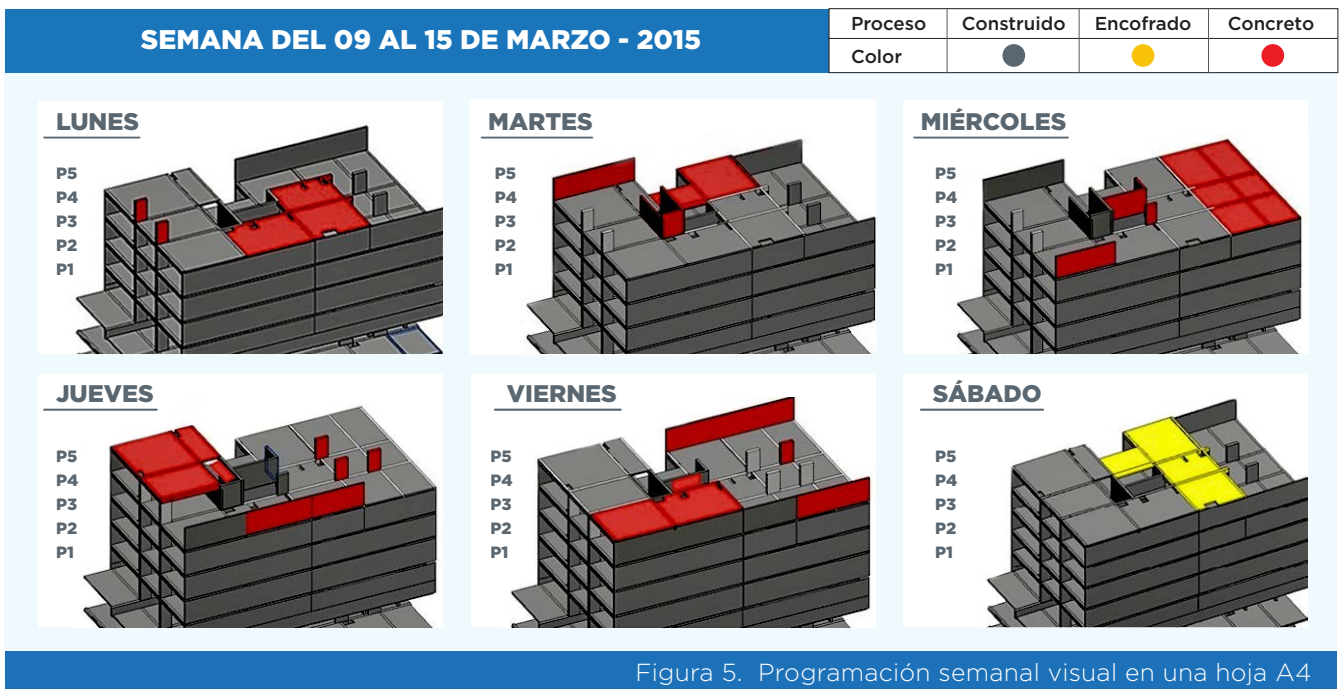


Figura 5. Programación semanal visual en una hoja A4

En este formato se puede apreciar que prácticamente se muestran sólo los vaciados de concreto (micro hitos), de esta manera la visualización es muy simple y clara y las demás cuadrillas, tales como las de Acero, Instalaciones Sanitarias, Instalaciones Eléctricas y Encofrado, se “alinean” implícitamente por programación reversa (técnica Pull).

Por ejemplo, si las cuadrillas involucradas ven en la hoja entregada, que el día miércoles por la tarde se está programando vaciar el concreto de las placas del ascensor del quinto piso, entonces la cuadrilla de encofradores sabrá que tiene que dejar su trabajo listo a más tardar a la mitad del mismo día, la cuadrilla de instalaciones deberá concluir el martes por la tarde y la cuadrilla de acero sabrá que tienen que entregar el acero de esos elementos al mediodía del martes. La Figura 6 muestra como las diferentes cuadrillas usan la hoja de programación visual para coordinar el avance de las “últimas asignaciones”.



Figura 6.- Comunicación de la programación semanal a los *Last Planners*

## RETRO-ALIMENTACIÓN VISUAL

Terminada la semana y en la reunión semanal con los last planners, la presentación del modelo, acompañado de algunas fotografías (Figura 7), promoverá la participación de todos en la tarea de identificar las Causas de No Cumplimiento (CNC).

Esta reunión, es un espacio donde frecuentemente surgen reclamos, quejas y muy buenas propuestas e ideas para obtener mejores Porcentajes de Planificación Cumplida (PPC).

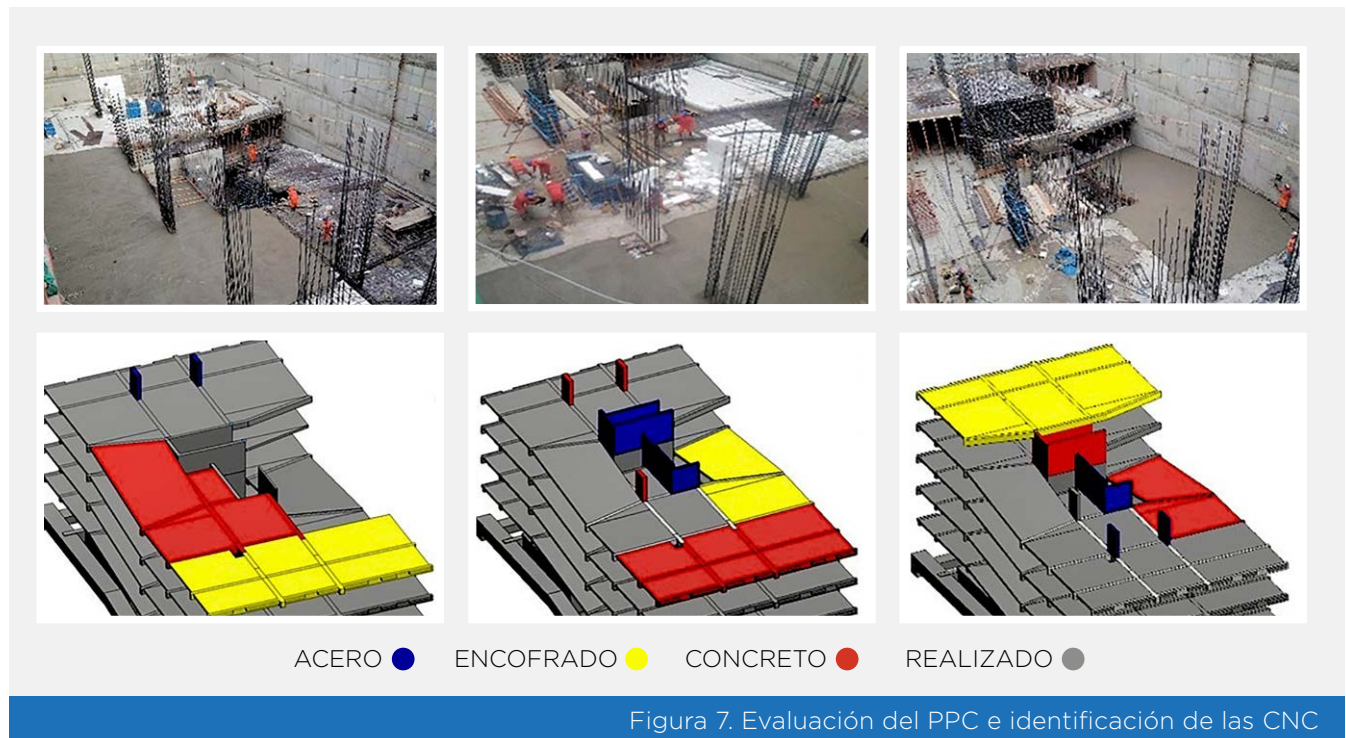


Figura 7. Evaluación del PPC e identificación de las CNC



## CONCLUSIONES

El Sistema Last Planner, apoyado con un modelado BIM genera una sinergia potente en la planificación de las obras, apoyando con la visualización de las alternativas de sectorización y sus secuencias de avance, ayudando a visualizar la ejecución de frentes de trabajo de acuerdo a las fechas programadas durante el Lookahead, facilitando la comunicación visual de la programación semanal mediante la programación reversa, y haciendo más efectiva la retroalimentación y aprendizaje con la comparación del modelo virtual semanal contra las imágenes semanales reales.

Al igual que el Last Planner System, cuya propuesta es desarrollar la programación en forma progresiva, el modelado BIM, para estos efectos, debe hacerse también de forma progresiva y al compás de las etapas del LPS.

## REFERENCIAS

- Ballard, G. (2000). "The Last Planner System of Production Control". Ph.D. Diss., School of Civil Engineering, the University of Birmingham, UK.
- O'Connor, R; Swain, B. (2013). "Implementing Lean in construction: Lean tools and techniques – an introduction". CIRIA Guide to Implementing Lean in Construction C730.
- Orihuela, P.; Canchanya, L., Rodríguez. E. (2015) "Gestión Visual del Sistema Last Planner mediante el modelado BIM". SIBRAGEC – ELAGEC, Octubre 2015 Sao Carlos, Brazil.
- Sacks, R., Dave, B, Koskela, L., Owen, R. (2009). "Analysis framework for the interaction between Lean Construction and Building Information Modelling". Proceedings for the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction.
- Tezel, A., Koskela L.; Tzortzoulos, P. (2010). "SCRI Research Report 3: Visual Management in Construction – Study Report on Brazilian Cases". Salford Centre for Research and Innovation in the built and human environment (SCRI).

# ACEDIM® PRODUCTIVIDAD EN TU OBRA



### BIM

Construcción virtual anticipada del proyecto que permite la gestión de recursos y prevención de problemas.



### FABRICACIÓN Y ENTREGA

Corte y doblado automatizado del acero para entrega en obra, permitiendo ahorro y mejora en la productividad.



### INSTALACIÓN

Contamos con un equipo especializado para la instalación del acero en obra.

**Elige la Seguridad de un Fierrazo**

Contáctanos en: [ahorroacedim@aasa.com.pe](mailto:ahorroacedim@aasa.com.pe) [www.acerosarequipa.com](http://www.acerosarequipa.com)



**ACEROS AREQUIPA**

# IMPLEMENTACIÓN DEL LAST PLANNER SYSTEM EN LA ETAPA DE ACABADOS DE UN PROYECTO DE VIVIENDAS

Danny Murguía Sánchez

Profesor Auxiliar PUCP, Investigador de Doctorado de la Universidad de Loughborough, Reino Unido.  
danny.murguia@gmail.com



El “Last Planner” (LP) es un sistema de producción diseñado para aumentar la confiabilidad de los flujos de trabajo y retroalimentar a la gestión de la programación.

El sistema LP tiene cinco elementos:

1. Programación Maestra
2. Planificación de fases “pull” o “jalar”
3. Planificación “Lookahead”
4. Programación Semanal
5. Aprendizaje

El proceso LP es colaborativo e involucra a los que hacen las tareas en el campo. Durante el proceso “Lookahead”, se identifica de manera colaborativa las restricciones que impiden el inicio de las actividades y se designan responsables para liberarlas. Solo así se tiene un determinado número de partidas libres de restricciones y listas para ejecutarse, luego, durante la planificación semanal se seleccionan los trabajos libres de restricciones y se programa a nivel de operaciones en la secuencia correcta. Una vez finalizada la semana, se analizan las fallas en la

planificación y se utiliza el porcentaje de plan cumplido (PPC) como un indicador de su performance, el cual mide la confiabilidad de la programación y promueve la mejora continua.

## PROBLEMA

En el contexto peruano, LP ha sido implementado en la etapa de estructuras en proyectos de edificación, tal como se reportan en varios “papers” del International Group for Lean Construction (IGLC) y en congresos nacionales de Lean Construction. Sin embargo, es un reto mayor sostener la implementación Last Planner en la etapa de acabados. En esta etapa, existe una cantidad importante de pequeños y medianos subcontratistas que realizan actividades en el mismo espacio físico y al mismo tiempo. Es frecuente que cada subcontratista maneje una agenda particular dentro del proyecto. Por ejemplo, se enfocan en el margen económico y trasladan la mano de obra y equipos entre varios proyectos para mejorar su eficiencia como empresa. Asimismo, muchos subcontratistas de acabados son informales y carecen de conocimientos de técnicas

colaborativas de planificación. En este contexto, los contratistas generales fallan en sostener la implementación de Last Planner en la etapa de acabados.

Para entender cómo LP es implementado en la fase de acabados, se estudió un proyecto de viviendas durante seis meses en una empresa que tuvo algún nivel de implementación de LP en esta etapa. El proyecto consta de siete niveles, con cuatro departamentos por piso, y un total de 27 departamentos. Las partidas estudiadas fueron: (1) enchapes, (2) pintura, (3) puertas, (4) ventanas, (5) closets, (6) muebles de cocina. Se observó que la planificación de la fase de acabados se

programó como “un piso por semana”, tal como se observa en la figura 1. Así por ejemplo, la partida de enchapes fue programada durante 7 semanas (1 semana por piso). El tren de actividades mostrado en la figura 1, que es el cronograma “pull” de fase, es el mismo que llega al nivel “Look Ahead” y también al plan semanal originando falencias como el planificar con una unidad de producción muy gruesa y una falta de detalle de partidas a nivel de operaciones.

Esta miopía hace imposible develar y analizar las correspondientes restricciones, apareciendo conflictos en el campo, así como retrabajos y fallas de calidad.

PARTIDA	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8
Enchapes	Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	Piso 6	Piso 7	Piso 8
Pintura 1ra mano		Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	Piso 6	Piso 7
Marcos puertas			Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5	Piso 6
Muebles cocina				Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Closets				Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4	Piso 5
Ventanas					Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
Puertas					Piso 1	Piso 2	Piso 3	Piso 4
Pisos						Piso 1	Piso 2	Piso 3
Pintura 2da mano							Piso 1	Piso 2

Figura 1: Tren de actividades para la fase de acabados

La tabla 1 resume lo encontrado en el proyecto. En base a estos hallazgos, es posible buscar medidas que permitan mitigar la baja performance.

DÉFICIT DEL LAST PLANNER	EVIDENCIA
Las unidades de producción son muy grandes.	La unidad de producción es un piso completo (pintura) o un departamento (puertas, enchapes).
El detalle de partidas a nivel de operaciones no es el adecuado.	Las partidas en la planificación semanal tienen el mismo detalle que la planificación de fases.
La planificación “jalar” es realizada con pocos subcontratistas.	La asistencia de los subcontratistas fue total sólo en la primera reunión. La mayoría de los subcontratistas desconoce del sistema “Last Planner”. Los subcontratistas manejan sus propias agendas, como mover personal entre obras de acuerdo a la carga de trabajo en cada una.
Las reuniones semanales sirven solo para analizar el avance, reconocer los retrasos y programar nuevamente.	Se abandona el análisis colaborativo de restricciones. Las actividades no son programadas al nivel de operaciones. Los planificadores de la contratista general no conocen todo el detalle de los procesos de trabajo de los subcontratistas en el campo.
La planificación “jalar” es abandonada.	Los ingenieros de producción presionan a los subcontratistas a acabar (“push”) según la fecha contractual. Conflictos entre subcontratistas y fallas de calidad suceden en el campo.

Tabla 1. Déficit del Last Planner encontrado en el proyecto



## PROPUESTA Y APLICACIONES

Se proponen las siguientes recomendaciones para la planificación y control de las partidas de acabado en proyectos de vivienda (Murguía, et al 2016):

- 1 El contrato con los subcontratistas debe incluir una cláusula de asistencia obligatoria del delegado de “Last Planner” a las reuniones colaborativas de planificación. Se debe asegurar que el que participe en la reunión sea realmente quien tenga la información de campo y no sea sólo un representante de la subcontratista que conoce poco de las operaciones reales de la obra.
- 2 Para reducir el “tamaño de lote” de cada partida, se propone crear varias unidades de producción en cada piso, que tienen menos interferencia y son más manejables. Estas unidades de producción están indicadas en la figura 2 como UP1: baños, UP2: cocinas, UP3: closets, UP4: puertas, UP5: pintura. Las tres primeras unidades de producción están en diferentes localizaciones entro de una planta típica, por lo que las cuadrillas pueden estar trabajando al mismo tiempo sin interferencia. No obstante, la cuarta y quinta unidad de producción debe ser programada independientemente pues atraviesa las tres primeras unidades de producción y otras áreas dentro de la planta típica.

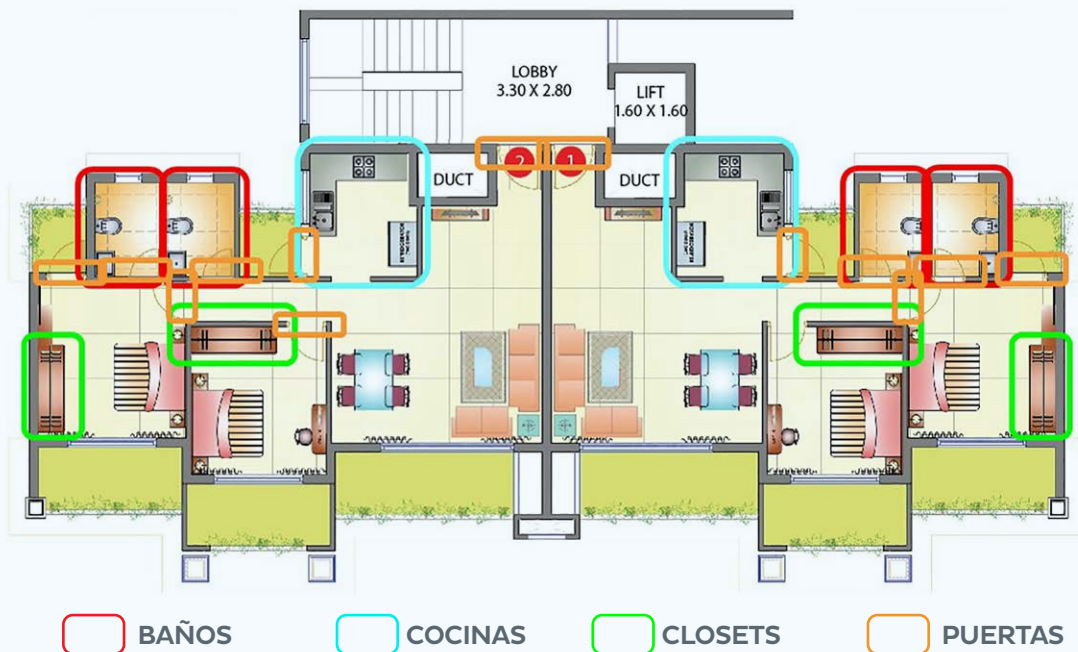


Figura 2: Unidades de producción por cada piso

3 Identificar las actividades al nivel de operaciones. Por ejemplo, en la figura 3 se observan las actividades a nivel de operaciones para cada unidad de producción.

	UP1 BAÑOS	UP2 COCINAS	UP3 CLOSETS	UP4 PUERTAS	UP5 PINTURA
<b>OPERACIONES</b>	Enchape piso	Enchape piso	Estructura	Marcos	Sellado
	Enchape pared	Enchape pared	Puertas	Colgado hojas	Empastado
	Fragua	Módulo alto	Repisas	Descolgado de hojas	Lijado
	Sorporte baño	Módulo bajo	Cajoneras	Marco 1ra mano	Primera mano
	Tablero	Tablero granito	Tiradores	Marco acabado	Segundo empastado
	Inodoro	Puertas y cajoneras	Limpieza	Hoja 1ra mano	Lijado
	Griferías	Tiradores		Hoja acabado	Segunda mano
	Limpieza	Lavadero y grifería		Colgado hojas	Remasillado
		Limpieza		Cerradura	Pintura final

Figura 3: Actividades a nivel de operaciones

4 Crear líneas de flujo como herramienta visual para las reuniones de planificación. La figura 4 muestra la línea de flujo para los acabados de la unidad de producción “sala-pasadizo-dormitorios” de un proyecto de vivienda masiva.

Este nivel de detalle permite realizar cronogramas más realistas, identificar restricciones, detectar cruces de cuadrillas de manera anticipada y tener mejores herramientas de visualización y comunicación en las reuniones semanales.

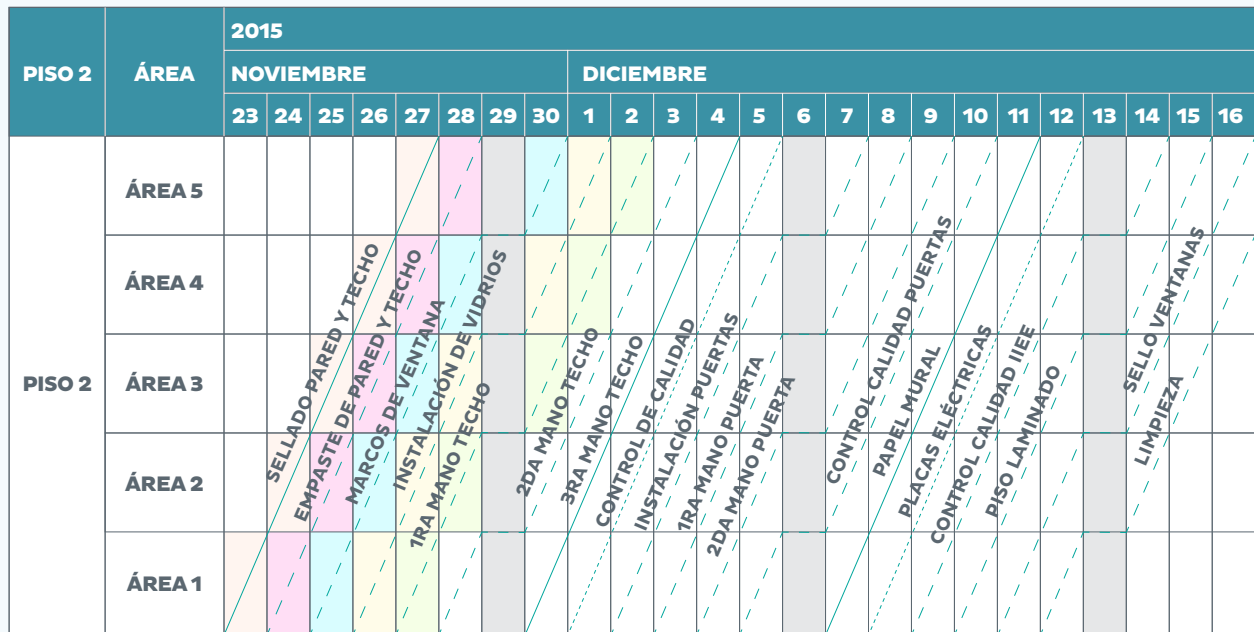


Figura 4: Línea de flujo para los acabados de la unidad de producción “sala-pasadizo-dormitorios” de un proyecto de vivienda masiva, adaptado de [Dave et al, 2015]

5 Intersectar las líneas de flujo de las diferentes unidades de producción para identificar oportunidades de reducción de cronograma y evitar desperdicios de tiempo e inventario.

Al intersectar las líneas, los planificadores pueden visualizar áreas sin trabajo y donde se pueden colocar cuadrillas para optimizar el flujo de las operaciones, como se observa en la figura 5.

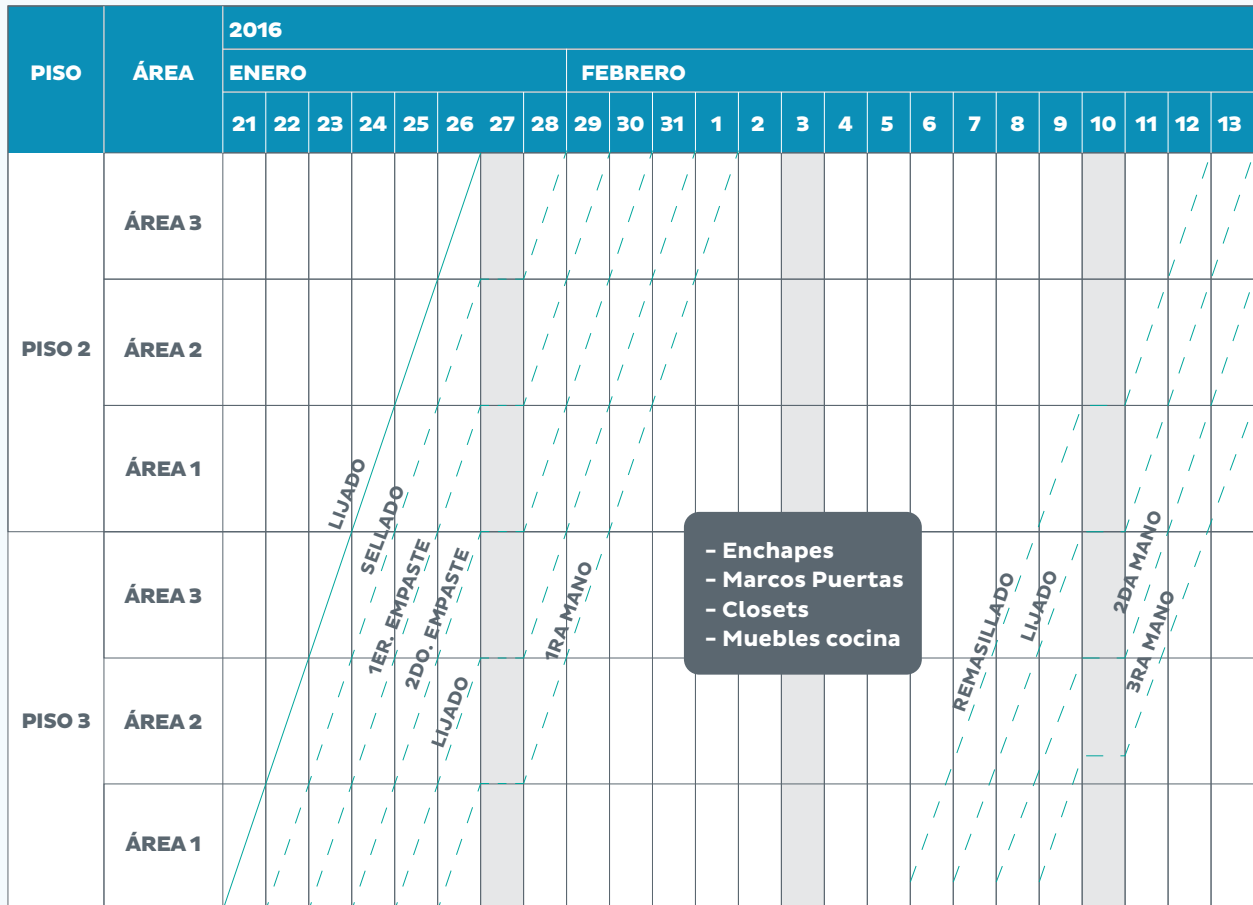


Figura 5: Líneas de flujo de UP5: pintura



### CONCLUSIONES

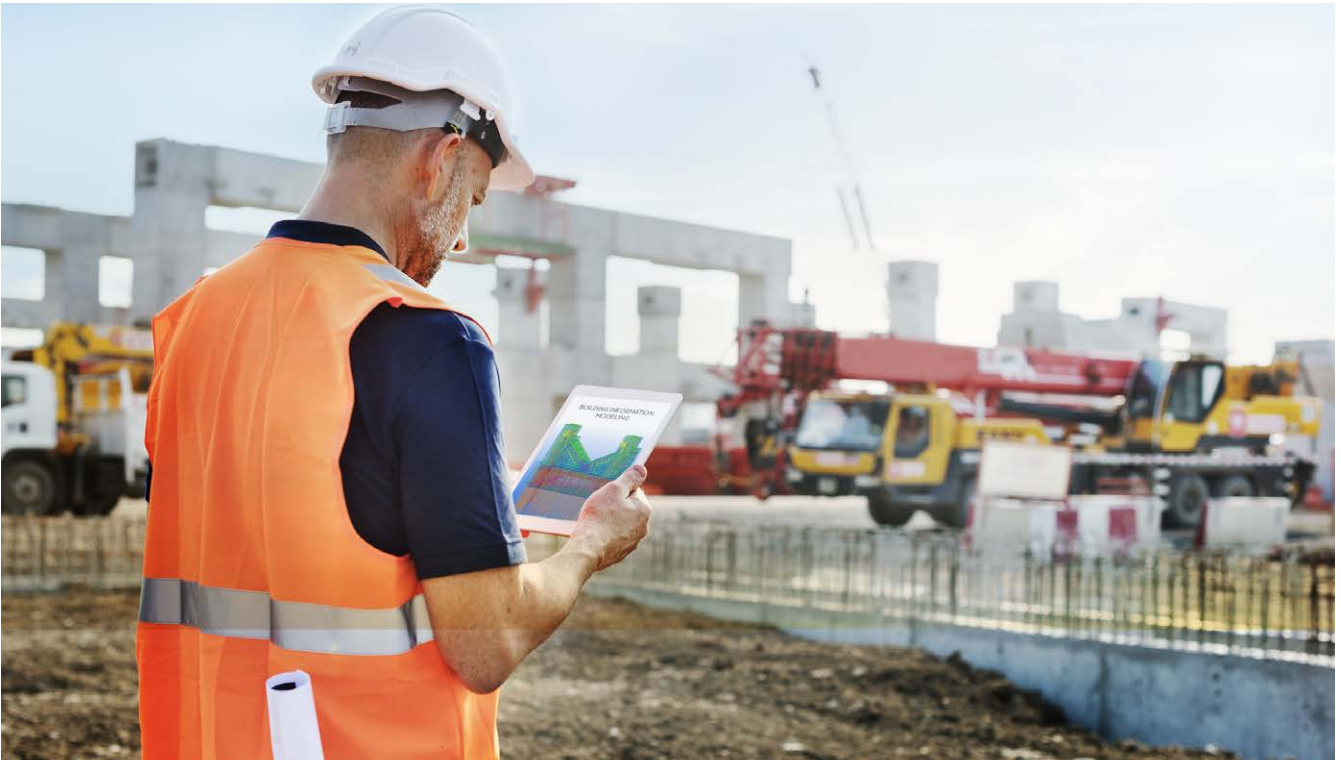
Se han presentado recomendaciones que facilitan la correcta implementación del LPS en la fase de acabados de edificios de vivienda y permiten mejorar el desempeño del sistema de producción. Sin embargo, es importante resaltar que el despliegue de estas estrategias requiere de entrenamiento, compromiso y liderazgo del contratista general y de los subcontratistas.

### REFERENCIAS

- Murguía, D., Brioso, X. & Pimentel, A. 2016, 'Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA.
- Dave, B., Hämmäläinen, J., Kemmer, S., Koskela, L. & Koskenvesa, A. (2015), 'Suggestions to Improve Lean Construction Planning' In: 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia.

# PARTICIPACIÓN DE LOS PROVEEDORES Y SUBCONTRATISTAS EN EL MEJORAMIENTO DE LOS MODELOS BIM PARA LA PRODUCCIÓN

Felipe Quiroz  
Gerente General IDandBIM  
felipe.quiroz@idandbim.net



## RESUMEN

El presente artículo plantea la necesidad de lograr proyectos con un mayor nivel de definición que permita cumplir los objetivos del proyecto. Para este fin, es importante reconocer que una de las principales causas del incumplimiento en el plazo, costo y calidad de los proyectos de construcción es la pobre definición del proyecto y la forma tradicional en que se gestiona la fase de diseño.

Este mayor nivel de definición requerido es posible solamente con la organización y participación temprana de todos los involucrados en el proyecto (Dave, et al., 2013). Por ello es importante utilizar la forma de trabajo que propone el VDC (Virtual Design and Construction) que, siempre con un objetivo medible como punto de partida, utiliza modelos BIM, procesos Lean y propone una ingeniería concurrente que permita simular con mucha certeza los procesos de diseño y construcción.

La Ingeniería Concurrente Integrada (ICE) rompe el esquema tradicional de diseño inicial aislado y propone el involucramiento integral de todos los especialistas de diseño con los constructores, subcontratistas y proveedores (Chachere, 2009).

La propuesta adicional, que se presenta en este artículo, es para que este trabajo colaborativo sea más eficiente; los principales proveedores y subcontratistas se involucren proveyendo sus productos soportados con un modelo BIM y que el costo que esto implica, sea asumido por el contratista y los proveedores y/o subcontratistas.

## ESTADO ACTUAL

La mayor parte de los proyectos que se vienen desarrollando se ejecutan en base a documentos de diseño generados principalmente con tecnología 2D CAD. Esta definición - o intento de diseño - es en realidad el principal motivo de los problemas tradicionales de la construcción incluida la corrupción, que se alimenta de esta falta de definición (Perez, 2016).

Esta falta de definición, que es típica en los proyectos de construcción, es resultado del uso de tecnología imprecisa, de los bajos costos del diseño, del uso de componentes poco industrializados (artesanales) y la fragmentación de los procesos de diseño - construcción.

La aplicación de BIM como herramienta de corrección a diseños basados en 2D CAD está ampliamente desarrollada, logrando una mejora sustancial a los procesos tradicionales y entregando diseños compatibles al inicio de la construcción.

En forma paralela, la aplicación de Last Planner System® como sistema de control de la producción es también una práctica cada vez más difundida en los principales proyectos del país. Con esto se tiene también una mayor certeza de cumplimiento de lo planificado.

Asimismo, en los últimos años, ciertos proyectos utilizan conjuntamente los modelos BIM y las herramientas Lean para cumplir objetivos tangibles del proyecto. Esta es la propuesta del VDC, que consiste principalmente en la integración temprana de los involucrados en el proyecto usando ingeniería concurrente (ICE) entorno a procesos Lean que utilizan tecnología BIM como fuente de información y permiten simular, y posteriormente controlar la producción, logrando que tanto el proyecto y el cliente logren sus objetivos (ver Figura 1).

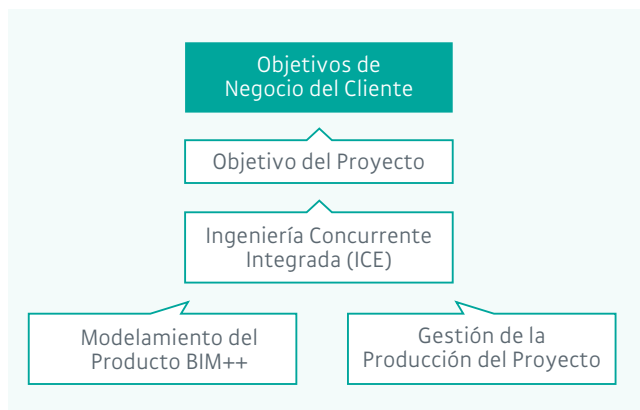


Figura 1: Visión general del VDC (Fischer, 2015)

Es importante también entender que independientemente del tipo de contratación, los diseños básicos con los que se vienen generando los planos de construcción alcanzarán como mucho un buen nivel conceptual válido para la compatibilización (ver figura 2), sin embargo, la mejora de la constructabilidad requiere necesariamente de la inclusión del constructor, los subcontratistas y los proveedores, ya que es necesario detallar el proyecto a un nivel construible o de producción.

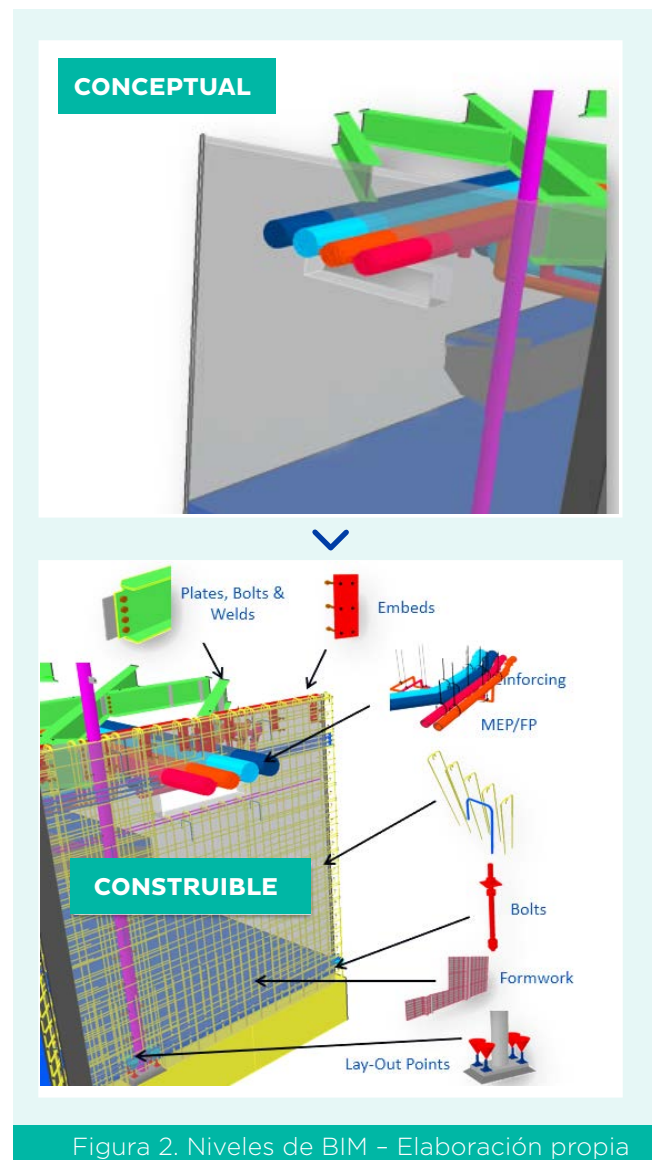


Figura 2. Niveles de BIM – Elaboración propia

Los tipos de contratación pueden incluir términos de referencia que aseguran que la fuente de información de los documentos de construcción sea BIM y facilitan la participación de todos los involucrados en etapas tempranas.

## PROPUESTA

La propuesta que presentamos se basa en la importancia de participación de los proyectistas como los subcontratistas y proveedores en las etapas tempranas de un proyecto, teniendo en cuenta al constructor como nexo.

En la alternativa de usar BIM solo con fines de compatibilización, la baja participación de proveedores y/o subcontratistas evidencia la fragmentación del proyecto. Esta es otra de las causas principales que generan proyectos poco detallados, ya que no se toman en cuenta los componentes reales del proyecto pese que se está teóricamente aplicando "BIM".

Para poder calcular los costos de tener proyectos más y mejor detallados partimos de las implementaciones actuales de este nivel de BIM usado para el proceso de compatibilización. El costo de este servicio, el cual está en el orden del 0.4% del costo del proyecto, es asumido normalmente por el constructor.

Sin embargo, para lograr un detallamiento real del producto, se propone realizar un modelamiento BIM de producción que incluya las variables de constructabilidad y que sea desarrollado con la inclusión de los proveedores de los componentes. El costo de este modelamiento, dependiendo de la especialidad, puede llegar a ser hasta 5 veces mayor que el del modelamiento BIM de compatibilización

actual. Además, por tener mucha más información, los detalles necesarios para la fabricación industrial y las especificaciones para montaje en obra deben incluir el costo de tener el modelo permanentemente actualizado durante la construcción.

La propuesta sería que este costo adicional se comparta entre el constructor y los proveedores y/o subcontratistas, quienes deberán participar necesariamente desde etapas tempranas con el modelo BIM de sus productos/componentes para producción.

Con esto se logra un cambio radical a lo que venía pasando actualmente donde los constructores esperaban lentamente y sin certeza que los diseños sean cada vez mejores con BIM y en lugar de ello tomar acción y utilizar ya el poder de compra que tienen para lograr de los proveedores la generación prototipos digitales precisos de los componentes industriales y procesos de montaje que serán suministrados.

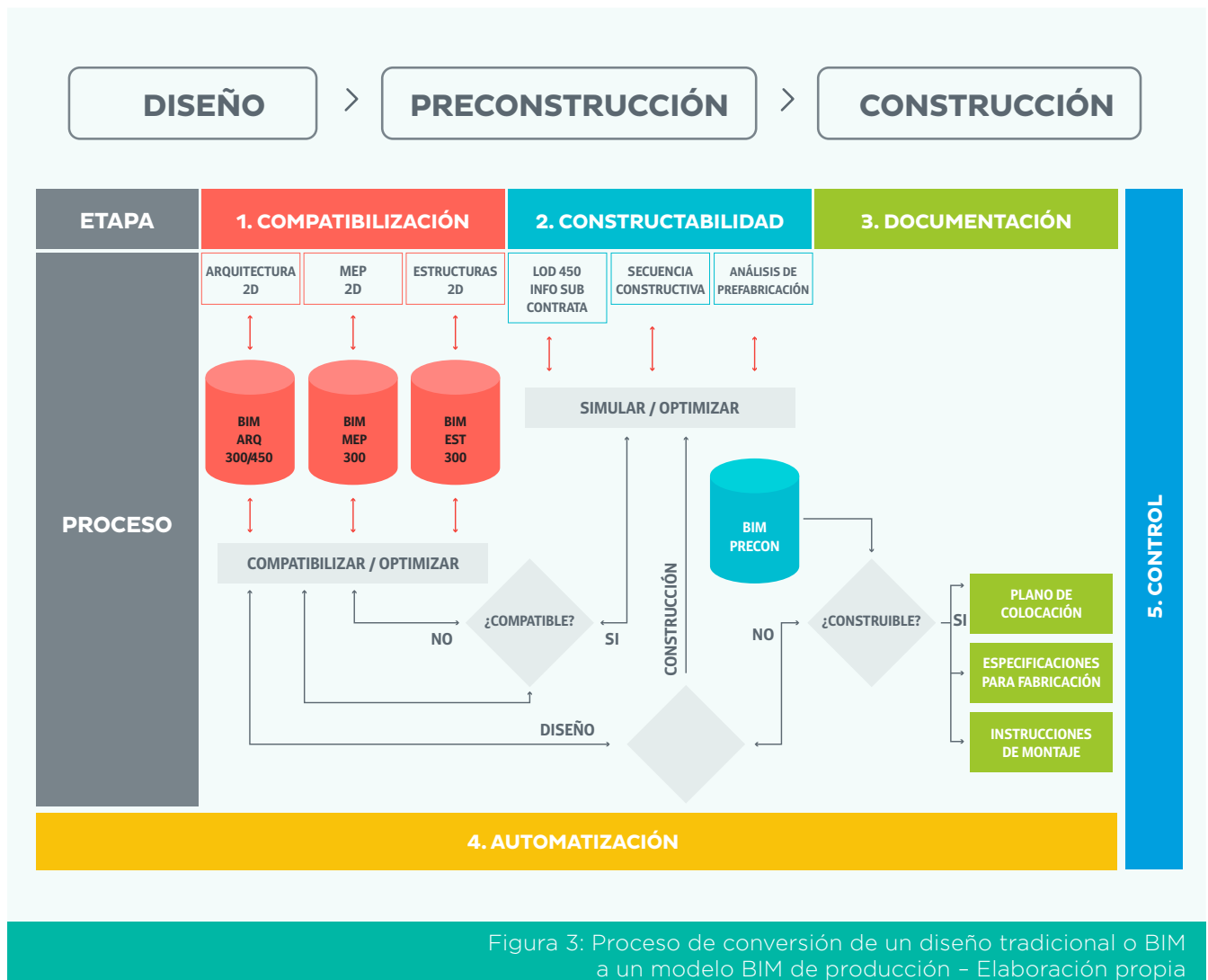
Es importante también destacar que una mayor definición del proyecto genera un beneficio enorme para los diseñadores que verán seguramente reducido el común tiempo separado para resolver consultas post diseño que van saliendo a medida que inicia la fase de construcción, este recurso liberado debería ser utilizado para aumentar su productividad con la tecnología BIM.



## APLICACIÓN CON EL PROVEEDOR DE ACERO DE REFUERZO

Un ejemplo de aplicación exitosa de la propuesta es el producto Acedim BIM, ofrecido por la Corporación Aceros Arequipa en alianza con IDandBIM (IDB), desde el 2017. Con este servicio, ahora al comprar el acero de refuerzo, el proyecto obtiene planos de detalle y métricas basadas en modelos BIM de producción. Esto ha llevado a empresas, con o sin experiencia BIM y sin una mayor inversión que lo ya estipulado en la partida armaduras, a tener el mayor nivel de detalle de BIM existente en el mercado.

El proceso de generar modelos de producción para fabricación de Acedim contempla iniciar un proyecto desde un diseño BIM o CAD 2D y generar un modelo de producción con la información necesaria también para una planificación más confiable. Este proceso de conversión se muestra en la Figura 3.



Dentro del proceso de conversión, la compatibilización permite corregir la definición geométrica del producto, la constructibilidad vuelve construíble los modelos compatibles y la documentación permite la optimización de producción y montaje.

El control de la producción se realiza básicamente con un mantenimiento constante al modelo que actualiza los cambios normales e indicadores de producción. Finalmente, para lograr cumplir los tiempos del proyecto se necesita generar herramientas de automatización que permitan asegurar la productividad y calidad.

El modelo de producción permite obtener métricas del casco estructural directamente del modelo (concreto, armadura y encofrado por ratios) y esta información sirve de fuente confiable para la gestión de la producción con herramientas como Last Planner System®. Las empresas sin experiencia BIM pueden acceder a un servicio que incluya la actualización del modelo según el estado de producción y la representación 4D usando herramientas como MS Excel y BIMSight.

A la fecha han desarrollado más de 50 proyectos en empresas constructoras con y sin experiencia BIM y estos han llegado a tener el casco a estructural a un nivel de detalle que permite planificar mejor y con menos riesgo.

En la Figura 4 se muestran ejemplos de vistas de estos modelos estructurales construibles.

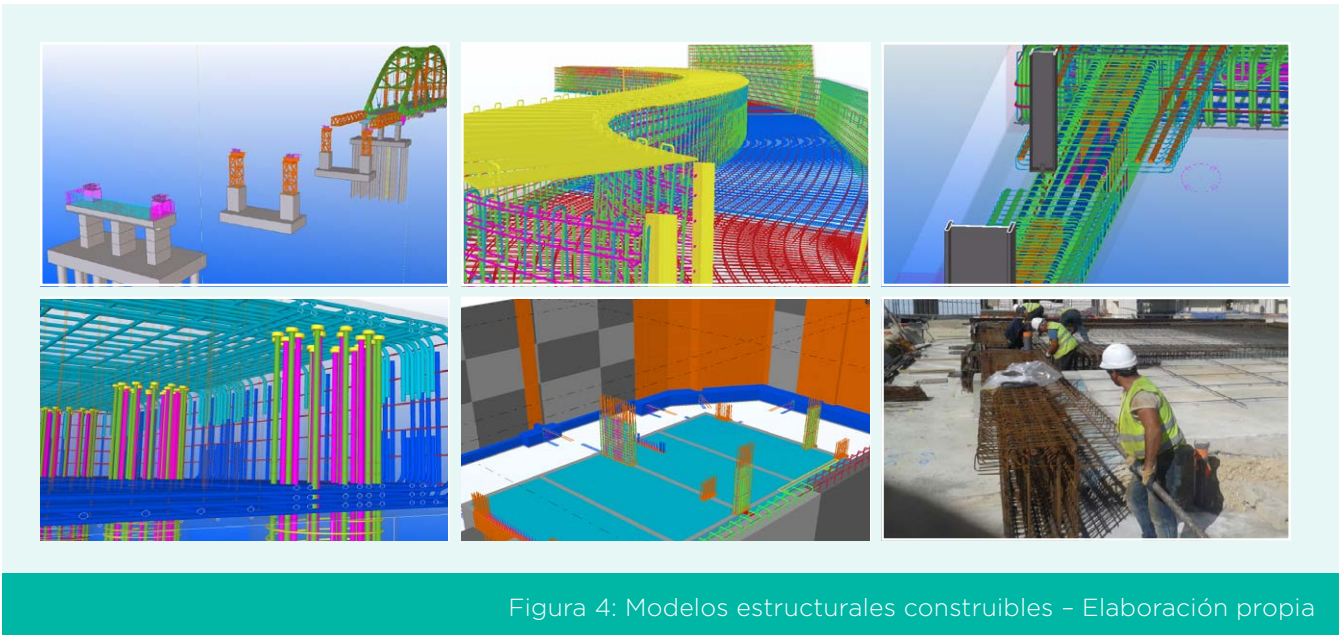


Figura 4: Modelos estructurales construibles – Elaboración propia



## CONCLUSIONES

El diseño básico del proyecto, aún siendo desarrollado desde modelos BIM, necesita de una validación constructiva que solo podrá darse con la inclusión del constructor, los subcontratistas y los proveedores. Por ello, los diseños de los proyectos desarrollados en BIM deben contemplar el proceso de conversión de los modelos de diseño inicial a modelos de producción. Este tipo de modelos es necesario para lograr procesos óptimos de construcción virtual que sean un soporte eficiente para la posterior construcción física.

El presente artículo propone que el servicio de los subcontratistas y proveedores debe incluir parcial o totalmente el modelamiento de sus productos y procesos suministrados y, al igual que en la construcción real, sus modeladores deben ser expertos en su especialidad para poder representar en el modelo los productos tal cual serán montados en obra. Esto, además de contribuir con la conversión del modelo BIM con fines de compatibilización a un modelo BIM de Producción, puede acelerar la industrialización y automatización si los fabricantes y proveedores utilizan estos prototipos generados en sus procesos de producción en sus fábricas o talleres.

## REFERENCIAS

- Chachere, J., (2009), Observation, Theory, and Simulation of Integrated Concurrent Engineering: Grounded Theoretical Factors and Risk Analysis Using Formal Models, Stanford, Estados Unidos, Center for Integrated Facility Engineering.
- Dave, B., et al., (2013), Implementing Lean in Construction: Lean Construction and BIM, CIRIA, Londres, Reino Unido.
- Fischer, M. (2016). From VDC to the Digitalization of Construction [Diapositivas de Power Point]. CIFE, University of Stanford, Stanford, Estados Unidos. Recuperado de <http://1g3wsozvb9d25b6dr2wrklqe.wpengine.netdna-cdn.com/wp-content/uploads/2016/09/kl-0905-Martin-Fisher-V2-VDC-Kruse-Smith-Conference-Fischer-150916.pdf>
- Perez, J. (2016). BIM as a Concept to Overcome Corruption in the CIS Region Construction Industry (tesis de maestría). University of Cambridge, Cambridge, Reino Unido.