



BOLETÍN  
TÉCNICO

#22

DICIEMBRE 2019

## CONTENIDO

02

Impacto de la realidad virtual y aumentada en la gestión del diseño y construcción de proyectos de edificación

08

La constructabilidad en el proceso de diseño de edificaciones

15

Ingeniería e industrialización de pilotes



Comentarios y sugerencias a  
[ahorroacedim@asa.com.pe](mailto:ahorroacedim@asa.com.pe)

# IMPACTO DE LA REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA EN LA GESTIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROYECTOS DE EDIFICACIÓN

P. Orihuela <sup>(1) (2) (3)</sup>, M. Noel <sup>(2) (3)</sup>, S. Pacheco <sup>(1) (3)</sup>, J. Orihuela <sup>(1) (3)</sup>, C. Yaya <sup>(2) (3)</sup>, R. Aguilar <sup>(2) (3)</sup>  
<sup>(1)</sup> MOTIVA S.A. <sup>(2)</sup> Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP; Departamento de Ingeniería <sup>(3)</sup> Grupo de Investigación Ingeniería 4.0

Tradicionalmente, el diseño de las edificaciones ha sido representado en planos 2D. Esta forma de comunicación dificulta la transmisión de información entre los involucrados en las distintas etapas de los proyectos de construcción, por el trabajo adicional que requiere interpretar los planos o documentos para acceder a la información que necesitan. Prueba de ello es la investigación realizada por Golparvar-Fard en su artículo del 2006, que muestra que el 77% del tiempo de las reuniones de diseño se emplea en actividades descriptivas y explicativas y solo el 23% en tareas de evaluación o predictivas (Figura 1). Los defectos y retrabajos producidos por el mal entendimiento de los planos y especificaciones durante el diseño y construcción pueden ser evitados, además de con el uso de los modelos BIM, con la inclusión de tecnologías como Realidad Aumentada (RA) y Realidad Virtual (RV), que permiten mejorar la transmisión de información entre el equipo de diseño, abastecimiento y construcción. La aplicación de este tipo de tecnologías también mejora la comunicación entre el equipo del proyecto y los involucrados no especialistas (inversionistas y usuarios finales) permitiendo que estos aporten valor al diseño del proyecto de manera más efectiva.

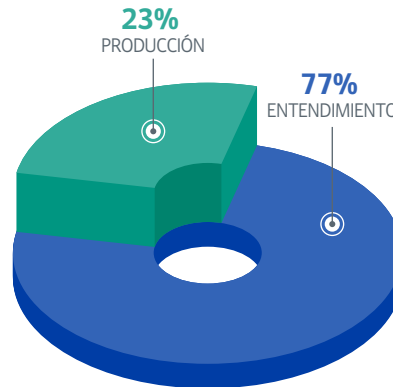


Figura 1. Porcentaje de tiempo en las reuniones ICE (Golparvar-Fard 2006).

Algunos autores hablan de la Realidad Virtual como la 8va dimensión del BIM, sin embargo no se trata de una dimensión más, sino de una alternativa más potente para la visualización de los proyectos de construcción. En la Figura 2 se muestra el impacto de estas tecnologías dentro del marco BIM. Como se observa en la figura, la RA presenta gran ventaja respecto a la visualización que ofrece el modelo BIM-3D debido a que permite mezclar lo real con lo virtual, mientras que la RV permite generar un entorno inmersivo e interactivo para el usuario. Adicionalmente, debido al potencial de estas tecnologías, no deberíamos descartar que estas dos tecnologías avancen hacia el lado derecho cubriendo también las demás dimensiones.

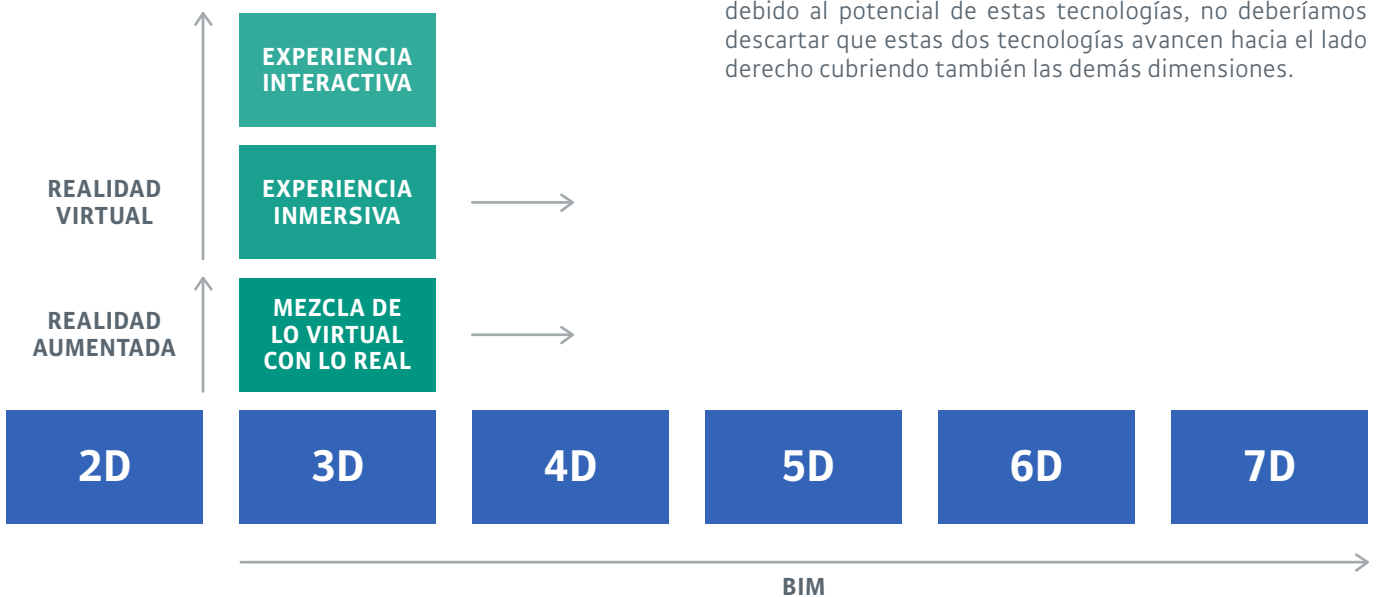


Figura 2. La RV y RA dentro del concepto BIM.

## TÉCNOLOGÍAS DE REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA

La RV se define como la simulación virtual de entornos que le permite al usuario interactuar en simulaciones tridimensionales realistas (Sherman y Craig, 2018). En términos simples, es cualquier espacio artificial generado por computadora en el que es posible vivir experiencias que no están pasando en ese instante ni en ese lugar (ver Figura 3a). El equipo utilizado para recrear estas experiencias consiste en unos lentes de pantallas estereoscópicas que permiten proyectar la simulación. La calidad de los lentes está ligada en gran medida a la sofisticación de la experiencia. Los lentes de mayor calidad se conectan a una computadora para ejecutar aplicaciones y juegos, mientras que los más económicos usan un teléfono celular en la parte frontal de los lentes para la visualización y ejecución de las aplicaciones.

La tecnología de la RV ha avanzado exponencialmente en los últimos años y está siendo aplicada en diferentes industrias con el objetivo de mejorar la productividad y competitividad (Krasnov, 2018). En el campo de la arquitectura, ingeniería y construcción, está recibiendo considerable atención debido a su capacidad para reducir costos, tiempo de entrega, problemas de calidad, entre otros. Su potencial está en la creación de experiencias de proyectos que todavía no han sido construidos, visualizando detalles complejos en entornos inmersivos (Juan, Chen, Chi 2018).

Por otro lado, la realidad aumentada (RA) es una técnica que permite a los usuarios interactuar con su entorno físico a través de la superposición de información digital (Gruberte et al, 2017). La RA puede ser considerada un tipo de RV en la cual el mundo real no es reemplazado por uno virtual, sino que el mundo real que el usuario observa se mantiene y es complementado con información virtual (Sherman y Craig, 2018) (ver Figura 3b). En la actualidad las aplicaciones de realidad aumentada se ejecutan en una amplia gama de dispositivos, como Smartphones, Tablets, PCs, o visores específicos para esta función. El potencial de esta tecnología recae en la posibilidad de observar modelos tridimensionales en dispositivos portátiles sin la necesidad de softwares especializados.

La Figura 4, muestra el proceso de implementación de una experiencia de RV y RA resumido en tres etapas y presenta algunos de los softwares más usados para el desarrollo del proceso. La primera etapa es la de simplificación de los planos arquitectónicos que consiste en la eliminación de información innecesaria para el modelado como dimensiones, mobiliario, sombreado de elementos, entre otros. La segunda etapa implica el modelado 3D de la edificación y el desarrollo de texturas fotorrealistas de los materiales. En la última etapa se implementan las experiencias de RV y RA. Las aplicaciones de RV pueden ser experiencias inmersivas e interactivas con la posibilidad de desplazamiento y manipulación de objetos o tan solo inmersivas donde se visualizan entornos 360. En el caso de RA las aplicaciones creadas mezclan el entorno real con modelos virtuales 3D.



**Figura 3.** Diferencias en la visualización con RA y RV: (a) visualización inmersiva e interactiva de un departamento piloto con RV, (b) visualización de un modelo 3D proyectado en el entorno real con RA.

### FASE 1. Simplificación de la arquitectura



### FASE 2. Modelado 3D



### FASE 3

#### Implementación de RV



← Inmersión + Interacción

#### Implementación de vista 360-RV



← Inmersión

#### Implementación de RA



← Realidad / Virtual

**Figura 4.** Esquema del proceso de implementación de un proyecto de construcción en RA.

## APLICACIONES DURANTE LAS FASES LEAN

Para la evaluación del impacto de las tecnologías de RA y RV, se llevaron a cabo cuatro aplicaciones para proyectos de edificación enfocadas a potenciar al menos una de las 5 fases del Lean Project Delivery System (LPDS). La experiencia de uso de estas aplicaciones fue evaluada por personas involucradas en los proyectos.

### Durante la fase de Definición del Proyecto

La fase de Definición del Proyecto, implica entender y alinear los propósitos de los involucrados, especialmente los del propietario del proyecto y los de los usuarios finales. En esta fase se evalúan algunas restricciones como las condiciones de sitio, las condiciones de mercado, las normas y reglamentos; para finalmente proponer los Conceptos de Diseño, que son presentados al propietario del proyecto (Ballard, 2008).

En una primera reunión, estos Conceptos de Diseño implican presentar los datos mínimos necesarios para realizar una primera estimación de la factibilidad económica y financiera del proyecto, de manera tal que el propietario del proyecto pueda validar sus expectativas financieras. Para ello, es necesario conocer las áreas que permitan calcular los costos de construcción y los ingresos por la venta del producto. En esta parte es muy importante que el propietario del proyecto, además de las cifras financieras, entienda la volumetría arquitectónica del Concepto de Diseño. Aun cuando los dibujos a lápiz y papel probablemente continuarán siendo herramientas útiles para presentar alternativas de Conceptos de Diseño, los modelos 3D juegan un importante rol (Ballard, 2008). La Realidad Aumentada, haciendo uso de dispositivos tecnológicos sencillos y sin necesidad de softwares especializados puede facilitar este entendimiento.

La Figura 5a, muestra una aplicación de RA que permite visualizar áreas y volúmenes de un edificio multifamiliar usando un Smartphone. Los botones del menú superior permiten que el usuario interactúe con el modelo preñdiendo y apagando zonas de costo diferenciado. En este caso, para la activación de la visualización de la experiencia se ha usado el plano de ubicación como target (ver Figura 5b).

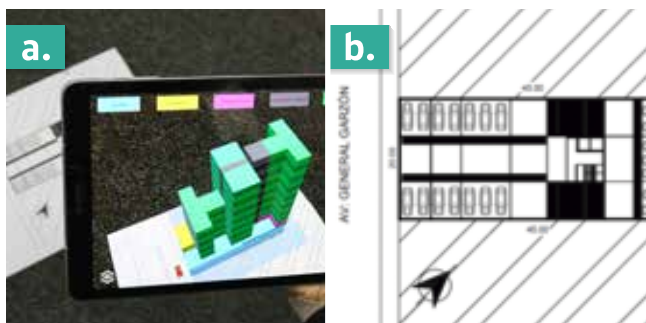


Figura 5. Aplicación de RA para evaluar un concepto de diseño: (a) modelo volumétrico en Realidad Aumentada (b) Plano 2D como target.

### Durante la fase de Diseño Lean

Durante el desarrollo del diseño, es de suma importancia la aprobación tanto del propietario del proyecto como la del usuario final. Esta aprobación es fundamentalmente arquitectónica, por lo que la correcta visualización de los espacios y dimensiones, durante el desarrollo del proyecto, evita las frecuentes pérdidas por re-trabajo y por iteraciones negativas. Las figuras 6a y 6b muestran la visualización en RV de las áreas comunes interiores (lobby) y en RA las áreas comunes exteriores (azotea) de un proyecto en la fase diseño.

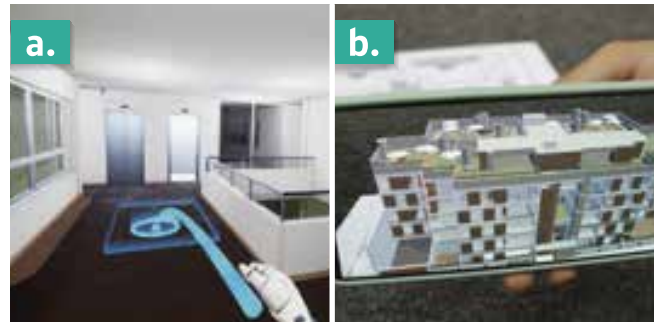


Figura 6. Visualización RV/RA durante el proceso de diseño: (a) Visualización de espacios interiores con RV (b) Visualización de espacios exteriores con RA.

### Evaluación de la Satisfacción del Usuario Final durante la fase de Diseño Lean

Una vez terminado el diseño es de suma importancia realizar la validación del nivel de satisfacción del usuario. El potencial de la Realidad Virtual es que permite añadir la experiencia del usuario como un input de diseño, siendo un enfoque innovador que va más allá de los recursos tradicionales tales como la experiencia personal del diseñador y la normativa correspondiente (Ventura et al, 2018). Estas evaluaciones, asistidas por la RV, se pueden desarrollar de forma interactiva durante el proceso de diseño y también luego de concluirlo, tanto para validar la calidad del diseño antes de la construcción, como para apoyar a la preventa inmobiliaria. Adicionalmente, en este último caso, la RV tiene un costo mucho menor al de un piloto de preventas real, con la posibilidad de mostrar el departamento y el edificio completo en cualquier momento y lugar; y con ventajas técnicas, como la de mostrar las vistas exteriores reales, ofreciendo al comprador una decisión de compra más segura.

Si los diseñadores de programas de vivienda pudieran contar con la verificación en etapas tempranas del proyecto, se podrían hacer las adecuaciones con la realidad y con los requerimientos de los compradores, evitando así futuros problemas (Silva et al, 2019). Existen 13 atributos valorados por los usuarios finales, entre los cuales, los más apreciados aparte de la seguridad son la distribución arquitectónica, los espacios y dimensiones, los acabados, las vistas exteriores, la estética interior y exterior y la iluminación (Orihuela y Orihuela, 2014). Los atributos mencionados pueden ser evaluados con mucha efectividad utilizando la Realidad Virtual.

La Figura 7a, muestra los resultados de una entrevista llevada a cabo en una feria inmobiliaria, a 20 compradores potenciales interesados en un departamento modelado en RV. Para la ponderación de los resultados se utilizó la escala Likert, donde el puntaje del 1 al 5 va de muy malo a muy bueno. Los resultados evidenciaron que los usuarios finales aprecian el aporte de la RV en la visualización y mejor entendimiento del proyecto.

La Figura 7b, presenta otra encuesta dirigida al uso de la tecnología RV. El estudio se realizó sobre una muestra más extendida compuesta por 72 personas de toda edad, respecto a la comodidad del uso de los lentes y manubrios para el desarrollo de la experiencia. Se puede apreciar claramente que en promedio el 90% de los encuestados aceptan el uso de esta nueva tecnología sin mayores inconvenientes.

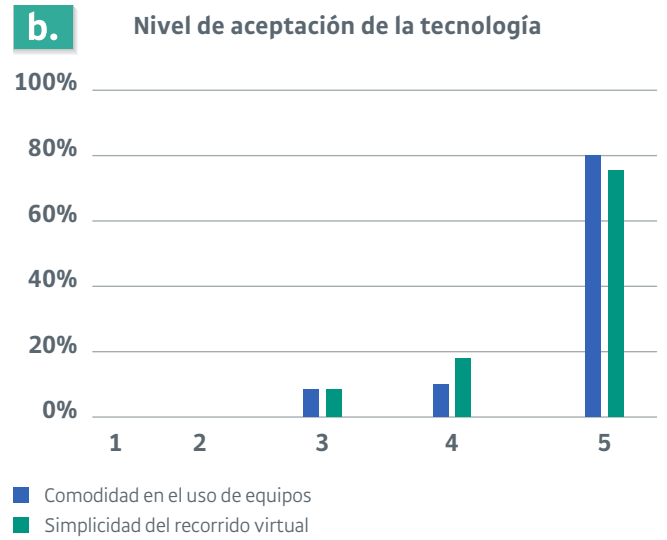
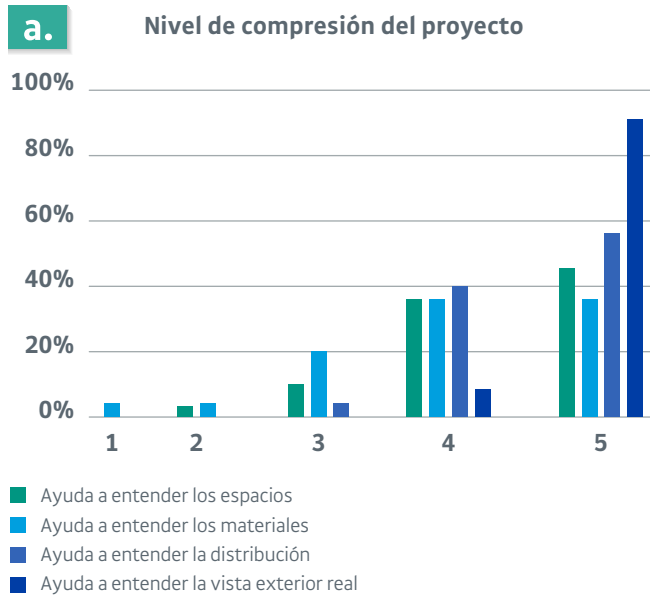


Figura 7. Resultados de las entrevistas a compradores potenciales (a) nivel de comprensión del proyecto (b) nivel de aceptación de la tecnología.

La Figura 8, muestra un plano de un departamento en venta. Si con la ayuda de un Smartphone (en este caso limitado a iPhones), se lee el Código QR que se encuentra al costado izquierdo inferior, se obtendrá una visualización de 360° desde

el punto de observación señalado en la flecha roja. Además, si se coloca el Smartphone en sentido horizontal se obtendrá una vista estereoscópica que permitirá ver el departamento en RV inmersita con el uso de un Cardboard.

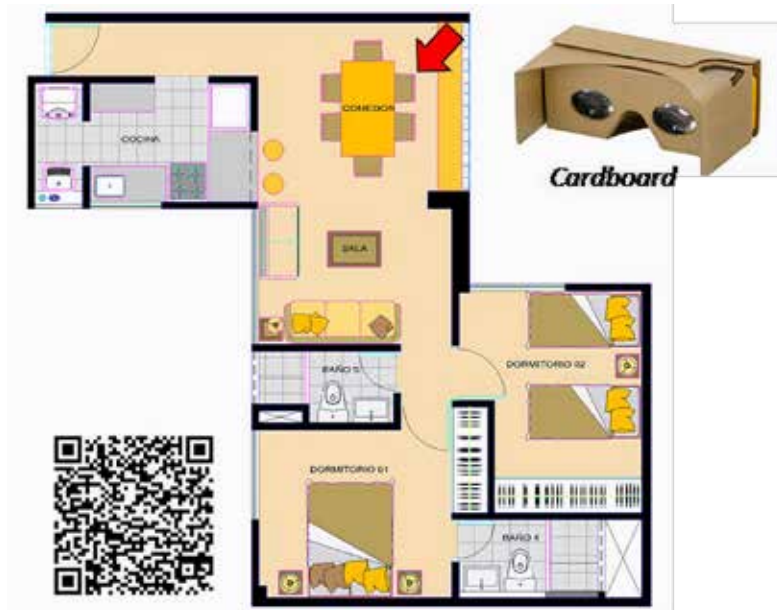


Figura 8. Vista 360° de un departamento en venta usando un código QR.

Las alternativas más comunes en nuestro mercado inmobiliario actual para ayudar a los compradores de vivienda con la visualización de los proyectos inmobiliarios son los siguientes: (1) los planos en 2D y los brochures de venta, (2) las maquetas convencionales o electrónicas, (3) los paseos virtuales, (4) los departamentos pilotos de preventa, y (5) La

Realidad Virtual inmersiva e interactiva. La evaluación multicriterio que se presenta en la Figura 9, demuestra claramente que de todas estas alternativas, la que tiene mejor desempeño ponderado usando la escala de Saaty, donde 0 es muy mala y 9 muy buena, es la Realidad Virtual.

		NIVEL DE IMPORTANCIA		DESEMPEÑO DE LAS ALTERNATIVAS DE VISUALIZACIÓN			
				Planos y Brochures	Maquetas físicas o electrónicas	Departamento Piloto en preventa	Realidad Virtual Inmersiva
NECESIDADES DEL COMPRADOR	Distribución de ambientes	5	28%	9	9	3	3
	Espacios y dimensiones	4	22%	1	3	9	9
	Acabados	3	17%	1	1	9	9
	Vistas exteriores	3	17%	0	0	3	9
	Estética de todo el edificio	2	11%	3	3	3	9
	Iluminación	1	6%	0	0	9	9
		100%		3.22	3.67	5.67	6.33

Figura 9. Evaluación multicriterio de las alternativas de visualización para los compradores de proyectos de vivienda.

### Durante la fase de Abastecimiento Lean y Construcción Lean

En la fase de Abastecimiento, se puede usar el modelo RV para complementar con un enfoque más visual y amigable la información contenida en los planos de detalle. Esta aplicación presenta gran potencial en ambientes como baños y cocinas y también para los cuadros de acabados, que son usados para la elaboración del presupuesto y la logística de compras. La Figura 10a, muestra una experiencia de RV de un baño en donde se visualizan las especificaciones de algunos acabados, cuando se posiciona el manubrio en cada uno de sus componentes.

Durante la fase de Construcción, la Programación Semanal que forma parte del Last Planner System, lista día a día las tareas que han sido liberadas de sus restricciones y que estarían listas para su ejecución. La comunicación de estas tareas a los “last planners” debe ser efectiva y amigable para lograr la ejecución fluida de dichas tareas (Orihuela et al, 2015). La Figura 10b, muestra una aplicación de RA, donde el target está constituido por una hoja A4 con la planta en actual en proceso de construcción. Mediante esta aplicación, los jefes de cuadrilla o cualquier trabajador con la ayuda de su celular pueden seleccionar cualquiera de los 6 días de la semana y ver cuáles son los frentes de trabajo y las tareas que se deben entregar al final de cada día.

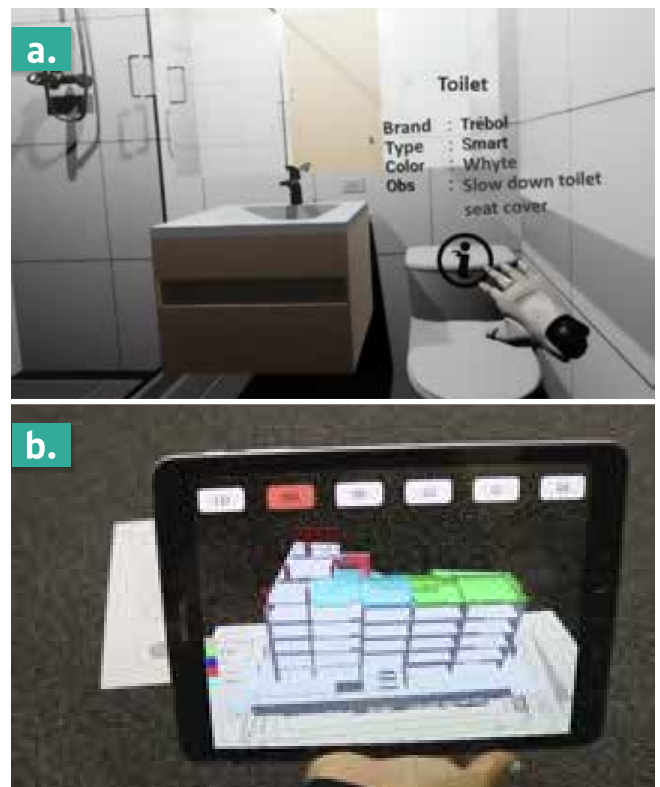


Figura 10. Aplicaciones de RV/RA (a) Visualización de las especificaciones en RV para el abastecimiento (b) RA para visualizar el plan de trabajo semanal durante la construcción.



## CONCLUSIONES

La combinación de la RV y la RA para la visualización de los proyectos de edificación, durante sus diferentes fases del ciclo de vida, contribuyen significativamente a evitar el desperdicio y a generar valor. Su uso en cada una de las fases del proyecto y en etapas tempranas, otorgan transparencia y confiabilidad en la toma de decisión de los involucrados, evitando problemas futuros, tales como, iteraciones negativas, desperdicios, esperas y trabajos re-hechos. El uso de cada técnica, depende del contexto en el que se requiera aplicar.

Para los trabajos de escritorio como en la fase de Definición del Proyecto y parte inicial de la fase de Diseño, la RV es totalmente aplicable y beneficiosa. Sin embargo, para etapas de trabajo en campo como la fase de Construcción, el uso de RA es potente debido a la simpleza y portabilidad del equipo (Smartphone o Tablet).

El sostenido incremento de investigaciones en estas nuevas tecnologías, nos demuestra que su aplicación cambiará radicalmente los procesos tradicionales de gestión visual de los proyectos de construcción por lo que nuevas investigaciones en esta área contribuirán significativamente al desarrollo del sector construcción.



## AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen la financiación proporcionada por DGI-PUCP en el marco del proyecto N° 2018-601. Los autores también reconocen el apoyo especial brindado por Yamile Rojo, Christian Yaranga y Arq. Alvaro Orihuela.

## REFERENCIAS

- **Ballard, G. (2008).** Lean Project Delivery System: An Update. *Lean Construction Journal*, pp 1-19.
- **Golparvar-Fard, M. (2006).** Assessment of collaborative decision-making in design development and coordination meetings. (Doctoral dissertation, University of British Columbia).
- **Grubert, J., Langlotz, T., Zollmann, S., Regenbrecht, H. (2017).** Towards pervasive augmented reality: Context-awareness in augmented reality. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, Vol 23(6), pp 1706-1724.
- **Krasnov, M. (2018).** Using Virtual Reality and 360-degree Photos and Videos in Marketing. Master's Thesis. Haaga-Helia University of Applied Science, Helsinki, Finland.
- **Orihuela, P., Orihuela, J. (2014).** Needs, values and post-occupancy evaluation of housing project customer: A pragmatic view. *Procedia Engineering* Volume 85, 2014, pages 412-419.
- **Orihuela, P., Canchaya, L., Rodriguez, E. (2015).** Gestión Visual del Sistema Last Planner mediante el modelado BIM. SIBRAGEC – ELAGEC 2015, Sao Carlos, Brasil.
- **Sherman, W., Craig, A. (2018).** Understanding virtual reality: Interface, application, and design, Indiana, United States. Morgan Kaufmann. ISBN 978-0-12-818399-1
- **Silva, D., Ferreira, L., Melo, L., Silva, C., Oliveira, A. (2018).** Systematic Literature Review: Customer's Requirements for Social Housing Design. *Proceedings of International Conference for Sustainable Design of the Built Environment-SDBE London*. Pages 355 – 365.
- **Ventura, S. M., Hilfert, T., Archetti, M., Rizzi, M., Spezia, A., Tagliabue, L. C., Oliveri, E., Ciribini, A. L. (2018).** Evaluation of building use scenarios by crowd simulations and immersive virtual environments: a case study. In ISARC. In: *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, vol. 35, pp. 1-8. IAARC Publications.
- **Sherman, W., Craig, A. (2018).** Understanding virtual reality: Interface, application, and design, Indiana, United States. Morgan Kaufmann. ISBN 978-0-12-818399-1.
- **Juan, Y. K., Chen, H. H., & Chi, H. Y. (2018).** Developing and Evaluating a Virtual Reality-Based Navigation System for Pre-Sale Housing Sales. *Applied Sciences*, 8(6), 952.

# LA CONSTRUCTABILIDAD EN EL PROCESO DE DISEÑO DE EDIFICACIONES

Dr., MSc, Ingeniero Civil Marco Antonio Arancibia Rodríguez  
 Consultor en Gestión de la Construcción  
 Profesor de Postgrado de la UPC – Perú, Católica de Sta. Catarina - Brasil  
 marancibia@terra.com.br

## RESUMEN

Este artículo presenta la aplicación de los conceptos de constructabilidad en el proceso de diseño de edificaciones, desde la perspectiva del trabajo desarrollado por el coordinador de diseño y los diseñadores. En primer lugar, son revisados los conceptos de racionalización y constructabilidad y las directivas que se pueden aplicar para mejorarlos en el proceso de diseño.

Luego, su aplicación se ejemplifica con las acciones tomadas por el autor para coordinar el diseño de una obra comercial. Finalmente, se indican las conclusiones sobre la aplicación de la constructabilidad en el proceso de diseño y algunas directivas que garantizarán su aplicación efectiva por parte del coordinador y / o diseñadores.

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años hay una mayor preocupación de los participantes del proceso de construcción de edificaciones con el proceso de diseño. Diversos investigadores y consultores desde la década del 90 señalan el gran potencial para mejorar el desempeño de los edificios a partir de la gestión de la etapa de diseño.

Si bien las ventajas de una gestión adecuada del diseño son evidentes, muchas veces no es posible cuantificarla con precisión en términos de desempeño. Autores como Picchi (1993) y Arancibia y Heineck (2001) ya señalaban que la gestión adecuada del proceso de diseño puede significar una reducción del 6% en el costo directo de las obras.

Debido a que uno de los objetivos de la gestión del proceso de diseño es la racionalización de recursos; podemos utilizar los conceptos de constructabilidad, gestión de calidad y coordinación de diseños, para obtener este objetivo. A continuación, se presenta una breve revisión de los conceptos de racionalización, constructabilidad y coordinación de diseños, necesaria para el desarrollo de los siguientes ítems.

### 1.1. Racionalización

Sabattini (1989) separa la racionalización en la construcción en dos niveles: para el sector y para las técnicas de construcción. En este último contexto, el autor define la racionalización constructiva como: "un

proceso compuesto por un conjunto de acciones que tienen como objetivo optimizar el uso de los recursos materiales, humanos, organizativos, energéticos, temporales y financieros disponibles en la construcción en todas sus fases".

### 1.2. Constructabilidad

La constructabilidad es definida por el Construction Industry Institute CII (1987) apud Griffith y Sidwell (1995) como: "El uso óptimo del conocimiento y la experiencia en construcción en la planificación, diseño, contratación y trabajo en obra para lograr los objetivos generales del proyecto".

A su vez, Griffith y Sidwell (1995) definen la constructabilidad del diseño como "consideración detallada de los elementos de diseño para cumplir con los requisitos técnicos y financieros del proyecto, considerando en lo posible la relación diseño-construcción para mejorar la efectividad del diseño y con esto subsidiar el proceso de construcción durante la obra".

A partir de estas definiciones, se puede decir que la constructabilidad se refiere al uso apropiado del conocimiento y la experiencia técnica en varios niveles para racionalizar la ejecución de proyectos, enfatizando la interrelación entre las etapas de diseño y ejecución. La constructabilidad en el diseño puede considerarse como la aplicación de este conocimiento y experiencia durante el desarrollo de los diseños, junto con las directivas generales que permiten racionalizar la ejecución de los proyectos.

### 1.3. Coordinación de diseños

La coordinación de diseños puede definirse como: un proceso que comprende la organización de las etapas del diseño, el análisis, control y compatibilización de las soluciones técnicas, la elaboración de proyectos ejecutivos y el seguimiento del desempeño de los mismos.

En este contexto general, se puede decir que la aplicación del concepto de constructabilidad está implícitamente inmerso dentro de la coordinación de diseños, teniendo como objetivo específico racionalizar los recursos y mejorar el desempeño técnico del proyecto.



## 2. CONSTRUCTABILIDAD EN EL DISEÑO

Para una gestión adecuada del proceso de diseño y la aplicación de conceptos como la constructabilidad, esta debe dividirse en etapas. Basado en modelos indicados por varios investigadores como Melhado (1996) apud Melhado (1998), Tzortzopoulos (1999) y Arancibia y Heineck (2001), se presenta un modelo general para este proceso (Figura 1), donde el concepto de constructabilidad puede ser aplicado en cada uno de las etapas presentadas. Se pueden identificar los siguientes participantes: Propietario; coordinador de diseño; ingenieros y contratistas; arquitecto ingeniero estructural; ingenieros de sistemas de construcción y otros consultores (costos, suelos, tecnologías de construcción).

En este contexto, las siguientes son algunas pautas para el coordinador del proyecto y los diseñadores.

### 2.1. Directivas de constructabilidad para el coordinador de diseños

El coordinador de los diseños es el responsable de realizar y promover acciones de organización, control e intercambio de información entre diseñadores, para que los diseños sean elaborados de manera organizada, dentro de los plazos especificados y cumpliendo los objetivos definidos para cada uno de ellos. Desde la perspectiva de la constructabilidad, el coordinador puede realizar las siguientes acciones:

- Establecer con el propietario los requisitos y planes generales de constructabilidad.
- Informar a los demás participantes sobre los requisitos de constructabilidad.
- Analizar resultados de desempeño en proyectos similares ya ejecutados.
- Analizar soluciones de diseño alternativas con diseñadores y propietarios, distinguiendo qué características hacen que una solución particular sea más efectiva que otra.
- Identificar las limitaciones del proyecto (costo, tiempo, clima, materiales, componentes, mano de obra).
- Identificar los niveles de complejidad de los diferentes sistemas de la edificación.
- Identificar las interfaces entre materiales y elementos de construcción.
- Identificar la complejidad de la secuencia de operaciones en obra y los márgenes a considerar.

### 2.2. Directivas de constructabilidad para los diseñadores

Los diseñadores, cuando se insertan en un proceso de gestión del diseño como se muestra en la Figura 1, deben preocuparse por la racionalización de las soluciones técnicas, la racionalización de los costos de la ejecución (que estas soluciones conllevan) y con la racionalización de los costos operativos y de mantenimiento. Debido a las características de los diferentes tipos de sistemas de construcción, cada diseñador debe tener un enfoque particular, pero las siguientes pautas generales se pueden dar a todos los diseñadores, según Griffith y Sidwell (1995):

- Simplificar los detalles del diseño para simplificar su ejecución.
- Diseñar considerando la habilidad y experiencia de la mano de obra disponible.
- Diseñar considerando secuencias prácticas y simples de operaciones de construcción.
- Diseñar para facilitar el mantenimiento y tolerancias de materiales / componentes en el sitio de trabajo.
- Diseñar estandarizando y usando el número máximo de repeticiones cuando sea apropiado.
- Diseñar para facilitar la comunicación con el constructor.
- Diseñar para simplificar sustituciones.

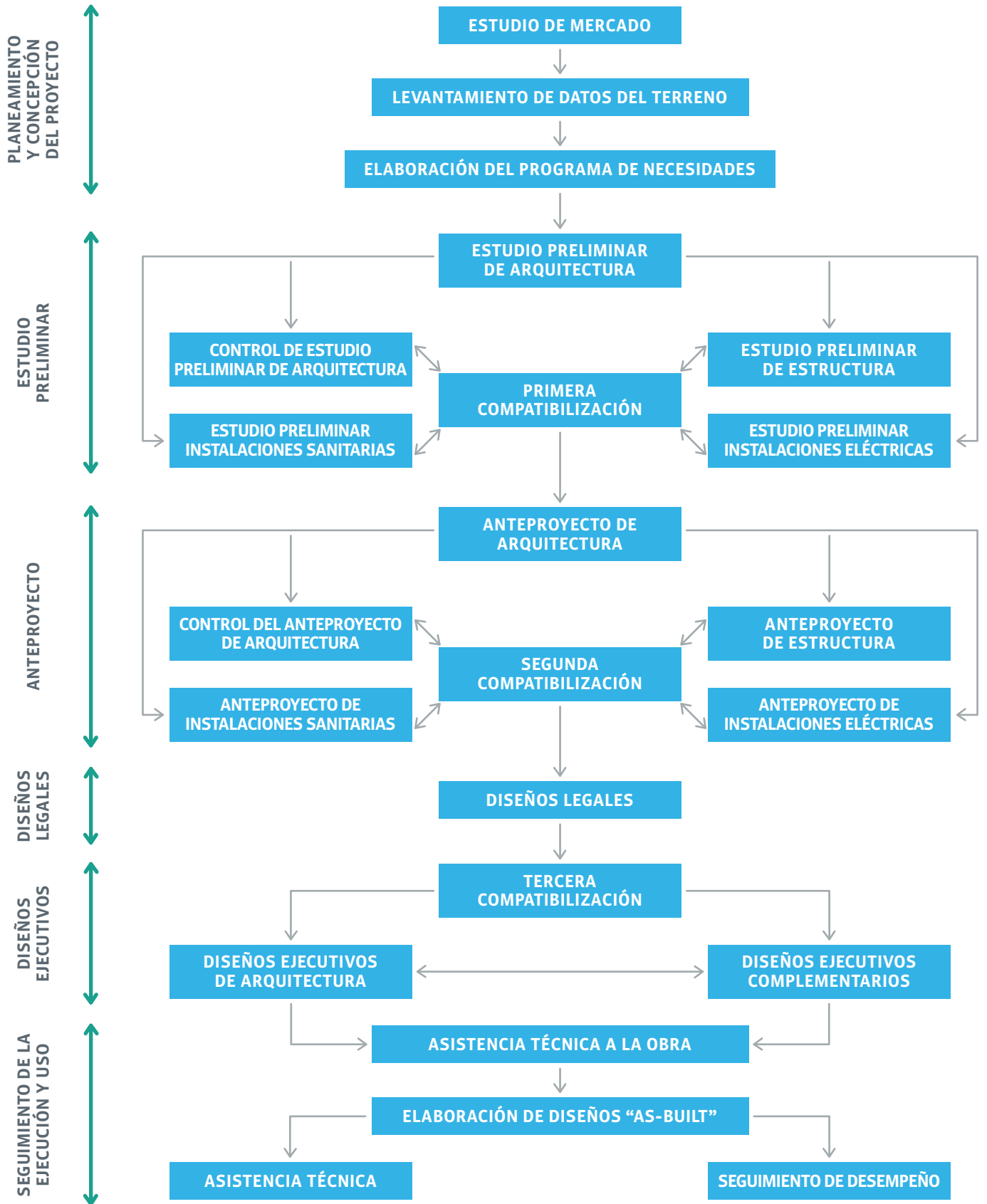


Figura 1. Modelo del proceso de diseño de edificaciones.

### 3. APLICACIÓN DE DIRECTIVAS DE CONSTRUCTABILIDAD EN EL DISEÑO

La aplicación de las directivas tanto por el coordinador como por los diseñadores se ejemplifica brevemente en las Figuras 2a, 2b y 3, en forma de definiciones, medidas y acciones tomadas durante la coordinación del diseño de un

proyecto comercial de 10,000 m<sup>2</sup> distribuido en 11 pisos. Los ejemplos en las Figuras 2a y 2b se refieren al coordinador de diseños.

DIRETRIZES DE CONSTRUCTABILIDAD	Definiciones, medidas y acciones
<p><b>Establecer junto al propietario los requisitos y planos globales de constructabilidad</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Diseños que faciliten la ejecución de opciones de distribución de las oficinas y su integración en un mismo piso.</li> <li>● Diseño que permita una rápida ejecución de la estructura de la torre (4 meses).</li> <li>● Diseño que permitan la opción de climatización tipo split en las oficinas (espacio para equipos y previsión de instalaciones).</li> <li>● Costo de ejecución por m<sup>2</sup> (sin terreno) de U\$ 450 a U\$ 500</li> </ul>
<p><b>Informar a los diseñadores los requisitos de constructabilidad</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Se estableció el planeamiento general de los diseños y los criterios de flujo de informaciones entre propietario, coordinador y diseñadores.</li> <li>● Se estableció el cronograma específico para cada especialidad de diseño, con definición de etapas y paquetes de trabajo a ser entregados; así como las informaciones externas necesarias para concluir cada etapa. Por ejemplo, para el diseño de instalaciones sanitarias deberá concluir el detalle de los pases; la estructura, deberá recibir anticipadamente el diseño ejecutivo de arquitectura, ajustado con los encofrados de estructura y con la posición final de piezas sanitarias y montantes validadas por el coordinador..</li> </ul>
<p><b>Análisis de resultados de desempeño en proyectos similares ya ejecutados</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Diseñar preferentemente un sistema individual (por oficina) de tiraje y renovación de aire, debido a que los sistemas centrales han causado muchos problemas de mantenimiento.</li> <li>● El diseño de cocheras en las extremidades (con un muro lateral) deberá considerar un ancho de 3 m. para facilitar las maniobras de los vehículos.</li> <li>● Prever en el diseño de la cobertura ganchos de anclaje y apoyos para elementos de sostenimiento de andamios a ser utilizados en el mantenimiento de fachadas.</li> </ul>

Figura 2a. Modelo del proceso de diseño de edificaciones.

DIRECTRIZES DE CONSTRUCTABILIDAD	Definiciones, medidas y acciones
<p><b>Análisis de soluciones alternativas de diseño</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Los proyectistas de instalaciones sugieren el uso de sistemas de distribución de desagüe en los diferentes pisos, entre el falso techo y la losa, con espacio entre falso techo e losa de H=30 cm en los baños y H=20 cm en el restante de ambientes. Otra alternativa es el uso de un piso elevado. En cada caso verificar la altura de entrepiso necesaria para el piso típico.</li> <li>● El tipo de estructura más económica que puede atender a los requisitos de costo y plazo del propietario es de concreto armado con uso de losas nervadas o post- tensionadas.</li> <li>● Los volúmenes, fajas y resaltos sobre los planos da fachada serán ejecutados con elementos de baja densidad después de la ejecución de la estructura.</li> <li>● Las cimentaciones profundas serán ejecutadas con pilotes tipo hélice continua en la región de la torre y cerca del límite con edificación vecina de estabilidad comprometida. En el restante del proyecto será usado pilotes prefabricados.</li> <li>● Las opciones de equipos de climatización tipo Split condicionan la creación de espacios externos a las oficinas (que comportaran unidades condensadoras) y deben estar integrados en los volúmenes arquitectónicos de las fachadas. Eventualmente se puede estudiar la concentración de equipos externos en determinados locales como cobertura y volúmenes en la entrada del edificio</li> </ul>
<p><b>Identificar restricciones de proyecto</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Se identificó una edificación vecina con problemas de estabilidad a lo largo de 30% del perímetro externo. Esto implica que la edificación a ser proyectada deberá quedar retirada de ese inmueble en esa región en una distancia aproximada de 2m.</li> <li>● La topografía y el nivel de la napa freática van a interferir en la circulación y ejecución de servicios durante la obra, por lo tanto el piso del sótano será ejecutado en la secuencia de las cimentaciones para facilitar la ejecución de las siguientes partidas.</li> </ul>

Figura 2b. Aplicación de directivas de constructabilidad para el coordinador de diseños.

DIRECTRIZES DE CONSTRUCTABILIDAD	Definiciones, medidas y acciones
<b>Simplificar detalles de diseño para simplificar la ejecución en obra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Empleo de cajas de pasaje estandarizadas y prefabricadas.</li> <li>● Pared única para instalaciones por baño. Ducto unificado para baños que están lado a lado.</li> <li>● Evitar interferencia de ramales de desagüe con vigas.</li> </ul>
<b>Diseñar para la habilidad y experiencia de la mano de obra disponible</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● La ejecución de instalaciones será realizada por una empresa especializada, con supervisión de la ingeniería de obra. Por lo tanto, el diseño será riguroso para atender a las normas y a los requisitos de montaje, sin ningún criterio que sobre-dimensione los elementos del sistema.</li> </ul>
<b>Diseñar para secuencias prácticas y simples de operaciones de construcción</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Los paquetes de trabajo serán separados por las etapas a ser ejecutadas en la obra: drenaje y captación de aguas de superficie, pases a través de la estructura, distribución de los pisos, montantes, detalles isométricos, detalles de desagüe y colectores.</li> </ul>
<b>Diseñar para estandarizar y aumentar repeticiones</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Serán seguidos los estándares de la constructora respecto a la altura de puntos de agua/desagüe en pared y altura de ramales horizontales de agua/desagüe en las paredes.</li> </ul>
<b>Diseñar para sustituciones y tolerancias prácticas en la obra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Los pases para inodoros y sumideros en las losas tendrán una holgura de 2,5 cm de cada lado.</li> <li>● Las medidas de pases, y localización de puntos en los diseños serán indicadas en centímetros, con aproximación de +/- 0,5 cm.</li> </ul>
<b>Diseñar para simplificar el mantenimiento</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Considerar accesos al pie de montantes para reparaciones y mantenimiento.</li> <li>● Considerar acceso a ductos de baños por las áreas comunes cuando posible.</li> </ul>
<b>Diseñar para una fácil comunicación con el constructor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Las escalas deberán seguir la norma interna de la constructora. Planos de distribución 1:50 o 1:75 y detalles de desagüe e isométricos 1:20 o 1:25.</li> <li>● En cada plano y detalle será indicado el código de las conexiones y tubos empleados, según fabricante a ser indicado por el propietario/constructora.</li> <li>● Todos los cruces de tubos deben ser mostrados en los planos y detalles.</li> </ul>

Figura 3. Aplicación de directivas de constructabilidad para el diseñador de instalaciones.



## CONCLUSIONES

A partir del trabajo actual y el seguimiento del diseño de diferentes proyectos, se puede concluir que la aplicación de la constructabilidad en el proceso de diseño es parte de su gestión y debe ser alentada por los participantes comprometidos con la racionalización y la mejora del rendimiento del proceso general del proyecto. Esto se corrobora con las investigaciones y publicaciones técnicas sobre constructabilidad que se continúan realizando desde la década del 90, especialmente por el Construction Industry Institute (CII).

Se verifica que el coordinador del diseño es el profesional más adecuado para gestionar la aplicación de los conocimientos técnicos y la experiencia de ejecución durante el diseño, tanto en general como a nivel de detalle, siendo esencial la participación de los diseñadores y los responsables de la ejecución para lograr una racionalización efectiva de las soluciones técnicas y un mejor desempeño de los edificios.

## REFERENCIAS

- **Arancibia, R.M.A.; Heineck, L..F.M.** Coordenação de projetos: uma experiência de 10 anos dentro de empresas construtoras de médio porte. In: II Simpósio brasileiro de gestão da qualidade e organização do trabalho no ambiente construído, Anais, Fortaleza, 2001
- **Griffith A., Sidwell T.** Constructability in building and engineering projects. London, Macmillan, 1995.
- **Melhado, S.B.** Metodologia de projeto voltada à qualidade na construção de edifícios: metodologia envolvendo os novos procedimentos de projeto. In: VII Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, ENTAC, 1998. Anais. Florianópolis.
- **Picchi; F.A.** Sistemas de qualidade: uso em empresas de construção de edifícios. São Paulo: Escola Politécnica, 1993. Tese (Doutorado em Engenharia) – USP.
- **Sabattini, E.H.** Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia. EPUSP, São Paulo, 1989. (Tese de Doutorado).
- **Tzortzopoulos, P.** Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte. Porto Alegre: CPGEC - UFRGS, 1999. (Dissertação de Mestrado).

# INGENIERÍA E INDUSTRIALIZACIÓN DE PILOTES

Ing. Alejandro Palpán Flores

Supervisor de Proyectos de Ingeniería de Detalle ACEDIM BIM - Aceros Arequipa

Coordinador de Proyectos BIM en TSC Innovation

Actual participante del 3er Virtual Design & Construction VDC CIFE - Stanford.

Especialista en BIM y automatización en software de Ingeniería.

## INTRODUCCIÓN

El Pilote es un elemento constructivo que corresponde al tipo de estructuras de cimentación profunda, su aplicabilidad radica cuando las condiciones del terreno superficial no son las adecuadas para soportar las cargas transmitidas. Los pilotes se pueden clasificar en pilotes excavados vaciados in situ, hincados, prefabricados, excéntricos, micropilotes, etc.

El diseño estructural se rige por el método de factores de carga y resistencia (LRFD por sus siglas en inglés), a fin de obtener el acero de refuerzo requerido que cumpla con las solicitaciones en dicha estructura (flexión, axial, corte, etc.). El refuerzo principal o longitudinal del pilote trabaja principalmente a flexión y consiste en barras de acero ubicadas de forma periférica. El refuerzo transversal resiste las fuerzas de corte lateral del pilote, y consiste en estribos cerrados o espirales.

En línea con el desarrollo de la industrialización de la construcción, a fin de mejorar los niveles de producción en obra, el trabajar con armaduras industrializadas – prearmadas, es la manera más rápida y efectiva de suministro de refuerzo

para Pilotes. Esto requiere de una Ingeniería de detalle que contemple últimas tecnologías y que combine de forma óptima los conocimientos estructurales, de fabricación, y constructivos.

En la actualidad Corporación Aceros Arequipa junto a la ingeniería TSC Innovation experta en construcción virtual en elementos de armadura prearmada ha suministrado alrededor de 2500 pilotes prearmados con un peso de aproximadamente 6000 tn en diferentes proyectos. La Figura 1, muestra el flujo de procesos para el suministro y montaje de acero en pilotes. El proceso (1) muestra un esquema tradicional de ingeniería y habilitado, sin embargo presenta muchas deficiencias empezando por la generación de planos en CAD 2D sin consideraciones constructivas y la variabilidad que presenta en el habilitado y montaje. El proceso (2) cuenta con una integración hacia atrás, es decir al integrar al proveedor en el diseño es posible optimizar los tiempos de producción con la inclusión del prearmado. A su vez mejora la Constructabilidad a la hora del montaje al combinar el criterio técnico y modelamiento BIM en etapas tempranas.

	DISEÑADOR			PROVEEDOR	CONSTRUCTOR	
PROCESO TRADICIONAL (1)	Ingeniería básica	Cálculo Estructural	Planos de Estructuras CAD 2D	Suministro de Acero	Doblado y Armado en Obra	Montaje
	DISEÑADOR		PROVEEDOR			CONSTRUCTOR
PROCESO INDUSTRIALIZADO (2)	Ingeniería básica	Cálculo Estructural	Ingeniería de Detalle + BIM	Fabricación (Acedim)	Prearmado en Planta	Montaje + Seguimiento BIM

Figura 1. Proceso tradicional e Industrializado para el suministro y montaje de acero en pilotes

## PROCESO INDUSTRIALIZADO

Posteriormente al cálculo estructural, se debe elaborar la ingeniería de detalle la cual debe envolver los criterios estructurales, de fabricación y constructivos a fin de encontrar la mejor manera de atender los requerimientos del proyecto mediante un enfoque VDC (Virtual Design & Construction) y usando la tecnología BIM. Esta etapa contempla un proceso que contiene una serie de pasos que incluye las coordinaciones técnicas, modelamiento BIM, despiece, fabricación, montaje, seguimiento en obra etc.

### Coordinación Técnica

En esta etapa se generan consultas, validaciones hacia los Stakeholders, mediante reuniones colaborativas ya sea de forma física con reuniones o virtualmente mediante

plataformas en la nube colaborativas. Se evalúa el procedimiento constructivo, constructabilidad, acero requerido por montaje (asas de izaje, zetas, aros internos de rigidez, etc.), opciones en empalmes ya sea por traslape normal o usando conectores mecánicos, cambios de estribos circulares a espirales continuas, subdivisión vertical del pilote en canastillas, soldabilidad del acero, etc.

### Modelamiento BIM / Planos de Montaje

El modelamiento BIM permite mostrar a todos los involucrados los detalles estructurales y constructivos a un nivel LOD 400 (Ver Figura 2). Esta etapa requiere de una rápida adaptación a los cambios, esto se logra mediante automatización.

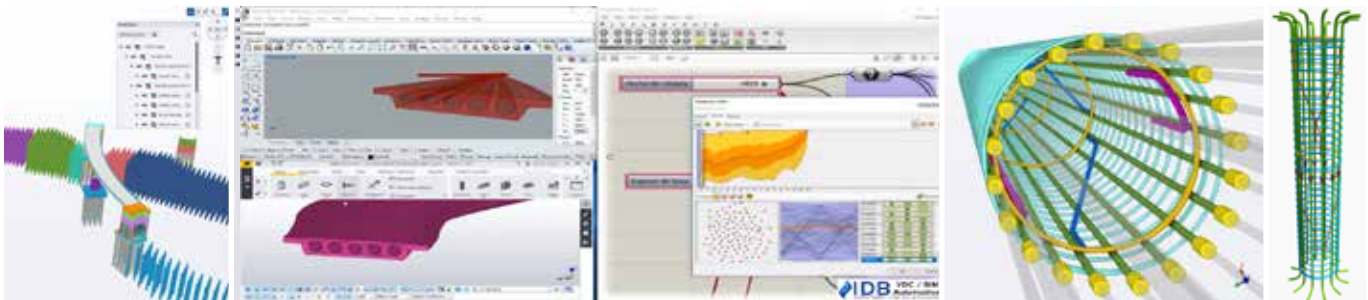


Figura 2. Modelamiento geométrico y Ubicación de Pilotes/ Automatización del modelamiento/ Modelamiento de Armadura y accesorios

Una vez validado en el modelo BIM la configuración definitiva del pilote, se procede a preparar planos de Prearmado/Montaje, el despiece y peso diferenciando la armadura estructural y constructiva empleada.

### Fabricación, Prearmado y Transporte

En base al despiece brindado en los planos se fabrica el acero dimensionado para posteriormente realizar el prearmado con el apoyo de una variedad de máquinas piloterías, los ritmos de producción son acordados de acuerdo a necesidad de la obra. Las espirales se colocan mediante rollos de acero continuos en toda la canastilla. Se sueldan los elementos de rigidez e izaje acorde a los procedimientos del American Institute of Steel Construction - AISC.

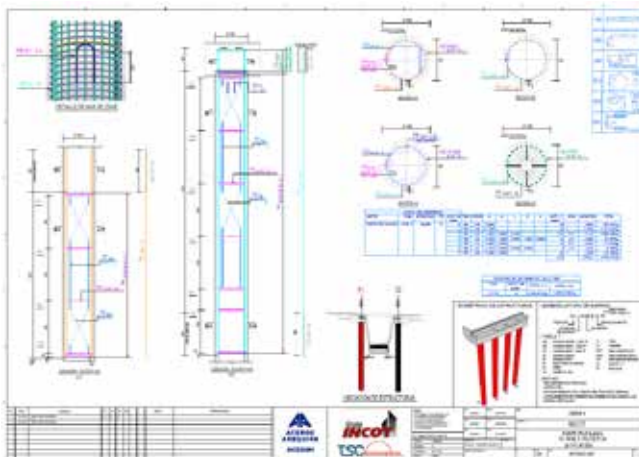


Figura 3. Plano de montaje para Pilotes Prearmados.



Figura 4. Prearmado de Pilotes mediante maquinas Piloterías (Pisco).



Lo logística del transporte considera varios aspectos tales como, requerimiento de entregas en obra, número de canastillas por camión, stock en planta, stock en obra, entre otros.



Figura 5. Stock de Pilotes en Planta / Pilote Prearmado (Pisco) / Transporte de canastillas

## Montaje en Obra

El prearmado provee una reducción significativa de recursos y tiempo en obra. La conexión de canastillas se puede realizar en piso o en vertical. Se carga por medio de grúa y se ubica en su posición final.



Figura 6. Montaje de Pilotes Prearmados. (Costa Verde – Lima).

## Seguimiento en obra usando Modelo BIM

El seguimiento de montaje en obra, consiste en captar la información de campo en tiempo real mediante el móvil y llevarlo al modelo BIM a fin de mantener un control de montaje Planeado vs Real.



Figura 7. Seguimiento de la instalación de Pilotes en Obra mediante app Trimble Connect. (Puerto San Martín - Paracas).

## APLICACIÓN DE PILOTES PREARMADOS EN PERÚ

Actualmente Aceros Arequipa cuenta con varios proyectos llevados a cabo exitosamente con la aplicación de Pilotes Prearmados, a continuación se muestran los proyectos más resalantes.

OBRA	LUGAR	N° DE PILOTES (UND)
Costa Verde	Lima	1227
Puerto San Martín	Paracas	1200
Universidad Continental	Cusco	96
Viaducto Armendáriz	Lima	52
Planta Acería	Pisco	146
Puente Escardo	Lima	44

Figura 8. Proyectos con la aplicación de Pilotes Prearmados.



## CONCLUSIONES

- La inclusión del BIM en etapas tempranas permite mejorar la constructabilidad y disminuir la variabilidad en la construcción al considerar las condiciones constructivas en el modelo BIM.
- Las condiciones de obra afectan de manera significativa el diseño constructivo del pilote.
- El conocimiento del proceso de diseño y comportamiento estructural del pilote permite proveer de diferentes alternativas de diseño, así es posible optimizar este proceso acorde a las condiciones de fabricación y constructivas.
- Los ritmos de montaje, deben estar planificados acorde a los ritmos de fabricación y prearmado. Una alternativa para disminuir la variabilidad en este aspecto es contar con stock disponibles en planta o directamente en obra.
- El prearmado en planta permite lograr mantener un buen control de calidad de soldadura en planta, optimiza el espacio de trabajo utilizado en obra y permite el abastecimiento continuo de la producción.
- Al contar con una múltiple variedad de máquinas piloterías en planta, es posible generar pilotes de diferentes configuraciones geométricas, por ende, su rapidez en el pre armado.

## REFERENCIAS

- **American Institute of Steel Construction (2002).** Seismic provisions for structural steel buildings. American Institute of Steel Construction.
- **American Institute of Steel Construction (1981).** Tentative Specification for Load and Resistance Factor Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings.