

## **IMPACTO DE LAS HERRAMIENTAS AVANZADAS DE VISUALIZACION EN LA INDUSTRIA AEC**

### **IMPACT OF COMPUTER ADVANCED VISUALIZATION TOOLS IN AEC INDUSTRY**

**Por / By Leonardo Rischmoller, Luis F. Alarcón, Martín Fischer, Robert Fox**

#### **Resumen**

*Este trabajo presenta una parte de la investigación sobre el impacto del uso de Herramientas Avanzadas de Visualización Computacional (CAVT Computer Advanced Visualization Tools), en el diseño de proyectos de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC Architecture, Engineering and Construction), y en los procesos de planificación de la construcción. La investigación se realiza en un marco de colaboración entre la empresa Bechtel Chile Ltda y la Universidad Católica de Chile. Las CAVT se identifican como herramientas fundamentales provistas por las Tecnologías de la Información (TI) y son definidas, en sentido amplio, en términos de su característica fundamental de proveer la habilidad para visualizar los fines (modelos de Productos) y medios (modelos de Procesos) para el diseño de proyectos AEC y los procesos de planificación de la construcción. La investigación se basa en el estudio de las CAVT aplicadas por una Empresa de Ingeniería y Construcción en un proyecto de la vida real (caso de estudio), apoyada por fundamentos teóricos y contactos con expertos en TI en la industria de la construcción (TIC). El proyecto en estudio se diseñó totalmente en tres dimensiones-3D (Primer proyecto en 3D en América Latina) utilizando el software Plant Design System (PDS), un poderoso Sistema de Diseño de Plantas proporcionado por Intergraph, Inc. El software DesignReview (también proporcionado por Intergraph) brinda capacidades de visualización avanzadas para la visualización del modelo PDS 3D, y la tecnología de modelamiento y simulaciones en 4D se aplicaron a las tareas de planificación y programación del proyecto en estudio. El tema de la gráfica computacional se revisa y se analiza brevemente como una tecnología central a las CAVT en la industria AEC. El trabajo plantea que el conocimiento sobre modelación de Productos y Procesos que proviene de la comunidad académica, es, por lo general, pasado por alto o desarrollado en forma tácita en la práctica industrial, guiado más por el sentido común, que por una aproximación ordenada basada en técnicas, metodologías o prototipos que provienen de la comunidad académica. Se presenta y analiza la Realidad Digital (DR Digital Reality), como el paso que sigue a los modelos de productos en 3D y el modelamiento en 4D se identifica como la tecnología que gatillará los cambios fundamentales previstos debido al impacto de las CAVT según se describe en este trabajo. El grado en que las CAVT se están utilizando en el proyecto en estudio proporciona enormes beneficios a la compañía que las aplica. Sin embargo, los resultados de la investigación nos llevan a concluir que aún cuando las CAVT sean ya una realidad, la industria AEC no les está sacando todo el partido que debiera. Se necesita una aproximación más directa de la comunidad académica y de la práctica de las empresas de AEC que pueda revertir esta situación, beneficiando tanto a la industria como a la investigación. Las principales percepciones de esta investigación que se derivan del estudio de la aplicación práctica de las CAVT demuestran el enfoque anterior, lo cual debería llevar a que el mayor impacto de las CAVT vaya más allá de las actuales bien conocidas mejoras, para dar lugar a un insospechado avance en la industria AEC.*

**Palabras clave:** CAD, 3D, 4D, construcción, planificación y programación de proyectos.

#### **Abstract**

*This paper presents part of the research about the impact of Computer Advanced Visualization Tools (CAVT) in the AEC design and construction planning processes, being carried out at the Catholic University of Chile. CAVT are identified as core IT tools and defined in a broad sense, their main feature being to provide the ability to visualize the ends (Product models) and means (Process models) for AEC design and construction planning processes. The research is based on the study of CAVT applied by an Engineering and Construction Company on a real life (case) project, supported by theoretical background and contact with experts in IT in Construction (ITC). The case project is being designed completely in 3D (First 3D project in Latin America) using PDS software, a powerful Plant Design System provided by Intergraph, Inc. DesignReview software (also from Intergraph) provides advanced visualization capabilities for visualization of the PDS 3D model, and 4D modeling technology and simulations are applied to the planning and scheduling tasks of the case project. Computer graphics topic is overviewed and briefly discussed as a technology central to CAVT in AEC industry. The paper states that knowledge about Product and Process modeling coming from the academic community, is usually overlooked or developed in a tacit fashion, more guided by the common sense, than by an orderly approach based on techniques, methodologies or prototypes coming from the academic community. Digital Reality is presented and discussed as the next*



*step following 3D product models and 4D modeling is identified as the technology that will trigger the major changes expected from CAVT impact described in this paper. The extent to which CAVT are being used in the case project is providing huge benefits to the company applying them. However, the research results lead us to conclude that even CAVT are a reality now, AEC industry is not taking full advantage of them. A closer approach of academic community and AEC practice is needed that could revert this situation, benefiting both industry and research. The main insights of this research coming from the study of the practical application of CAVT prove the former approach, which should lead the main impact of CAVT to go beyond current well known improvements, to a new unsuspected pace for improvements in the AEC industry.*

**Keywords:** CAD, 3D, 4D, construction, planning and programming of projects.

## 1. INTRODUCCION

Las Tecnologías de Información que se utilizan en la industria AEC son numerosas. Desde las máquinas para enviar facsímiles hasta las comunicaciones vía Internet, desde el software para automatizar las oficinas a las más avanzadas aplicaciones CAD, desde los sensores láser para la adquisición automatizada de datos; todas estas tecnologías manejan información dentro de la industria AEC. Todas estas tecnologías reducen o reemplazan los esfuerzos humanos, sean éstos físicos o mentales, y tienen un profundo efecto sobre la industria AEC. El estudio de las aplicaciones de las TI en la construcción es, sin embargo, un campo virgen de investigación, que todavía lucha por definir su lugar dentro de la gran familia de disciplinas académicas (Bjork, 1999). Este artículo presenta los resultados de investigación sobre la TI en la construcción. El trabajo se centra en las CAVT aplicadas a los procesos de planificación del diseño y construcción al nivel operativo del proyecto. En la industria AEC necesitamos representar no sólo la información visual animada, sino también la información que subyace sobre los componentes y actividades de los proyectos (Kunz et al, 1999). En ese sentido, la definición de las CAVT va más allá de los rasgos de representación física. Se presenta una definición más amplia de las CAVT, que involucra su habilidad para visualizar información relativa a los fines (Modelos de Productos) y medios (Modelos de Procesos) para el desarrollo de procesos en proyectos AEC.

Los temas relacionados con la computación gráfica, que resultan fundamentales a las CAVT en la industria AEC, se revisan y se discuten brevemente en este trabajo. Se analiza la demanda de imágenes desplegadas en pantallas de mayor calidad y las limitaciones de las interfaces existentes, los poderosos procesadores y capacidades de software recientes cada vez más asequibles en costo para los usuarios, y las necesidades de interoperabilidad.

Las Tecnologías de Información para la industria AEC involucran la integración de todos los procesos para desarrollar productos y la gestión de los flujos de información entre ellos, independientemente de los modelos de datos por los que se opte en las diferentes implementaciones del mismo y único proceso (Scherer, 1994). El Modelamiento de Productos y Procesos son los principales temas que se relacionan con la aproximación descrita precedentemente y que han concitado la mayor atención en los últimos años en la investigación de TI en la industria AEC. La representación visual del producto de los proyectos, que se asocia comúnmente a algún esfuerzo de modelación CAD en 3D ocupa un lugar central en los Modelos de Productos. Diferentes aproximaciones han prolongado la representación “física” del modelo del producto del proyecto, para hacer que incluya no sólo la información geométrica que contiene, sino también los datos subyacentes que apoyan a las diferentes actividades durante las diversas etapas que supone un proyecto AEC. Este trabajo extiende este enfoque a lo que será definido como la Realidad Digital (DR). El Proceso de Modelamiento busca representar las detalladas tareas y transformaciones de entidades específicas entre actividades simultáneas orientadas a completar un diseño de una planta construida dentro de la industria AEC. El proceso de modelamiento de la Construcción bajo la forma de modelos en 4D se presenta en este trabajo como la tecnología que gatillará los cambios fundamentales que se esperan del impacto de las CAVT.

La investigación se basa fundamentalmente en la aplicación de las CAVT a un proyecto real por una compañía de Ingeniería y Construcción cuyo diseño en la actualidad se encuentra en un estado de avance de 70%. Los tres procesos fundamentales que se estudiaron en el proyecto durante la etapa de diseño fueron: (1) Diseño utilizando Modelamiento en 3D, (2) Constructabilidad y (3) Planificación y Programación de la Construcción. La descripción del impacto de las CAVT sobre estos procesos se describe en este trabajo, y constituye la fuente principal de la que se deriva la comprensión del problema.

## 2. CAVT HERRAMIENTAS FUNDAMENTALES EN LAS TI

Las herramientas de animación avanzada y de visualización de multimedia se están utilizando con éxito en simulaciones de vuelo militares y comerciales, en la industria del entrenamiento, en la investigación médica, en comercialización y en otros campos (Rischmoller et al., 2000). El Diseño Asistido por Computadora (CAD), la Realidad Virtual (VR) y el Modelamiento en 4D fueron presentados y analizados por Rischmoller, como lo más representativo de las



herramientas más avanzadas de las TI de visualización computacional gráfica que resultan adecuadas para los propósitos de la industria AEC.

El CAD y RV cuando se usan en proyectos reales, se limitan a la etapa de diseño, sin embargo una estrategia de TI hoy no puede sólo limitarse a empezar y terminar con el diseño (Bentley, 1998). El modelamiento en 4D va un paso más allá e involucra a la construcción. Los modelos CAD en 4D tradicionales son puramente representaciones gráficas de una planta física y su proceso de construcción con base en el tiempo. Para vincular el análisis de procesos y de la organización, empero, se necesita representar no sólo la información de animación visual, sino también la información subyacente sobre los componentes y actividades de la planta (Kunz et al, 1999). Las herramientas de diseño en 3D disponibles ya están proporcionando beneficios, en especial en la industria de diseño de plantas, en donde el diseño en 3D ha alcanzado un importante nivel de desarrollo.

El modelamiento en 3D tiene un enfoque “bien” desarrollado, en la mayoría de las más importantes compañías AEC. El 4D y la RV, son tecnologías que están empezando a cruzar la frontera entre la investigación y la práctica. Se están desarrollando nuevas herramientas y tecnologías e interfaces en los laboratorios de TI (por ejemplo los dispositivos denominados Workbench e Información Mural en la Universidad de Stanford). Todas estas tecnologías tienen en común la capacidad para, no sólo representar visualmente los productos finales a los que se orienta la industria AEC, sino también los procesos que se requieren para lograr los productos finales.

Las CAVT se definen como la colección de todas las herramientas computacionales necesarias, que permiten la representación visual de los fines y medios de la industria AEC que se requieran para lograr el diseño y construcción de proyectos AEC.

Las CAVT definidas en forma tan amplia, proporcionan una definición capaz de evolucionar en el tiempo, ya que no están ligadas a ninguna herramienta en particular. Y aunque las CAVT están fundamentalmente relacionadas con el aspecto visual de la representación de un proyecto, no se limitan solamente a dicho enfoque, el cual constituirá sólo su producto final. Las CAVT podrían llevar a una versión en 3D, un plano en 2D, una orden de materiales, un informe de orden de trabajo o a un entorno de realidad virtual, cada uno originándose de un producto único y una representación de un modelo de proceso, que se pueda visualizar a través de un dispositivo de visualización en un computador.

### **3. COMPUTACION GRAFICA Y LAS CAVT**

#### **3.1 Computación Gráfica**

Los computadores personales han llevado a la ciencia computacional mucho más allá del imperativo puramente técnico. Los computadores ya no son del ámbito exclusivo de militares, gobiernos y grandes empresas, se están canalizando directamente a las manos de individuos muy creativos en todos los niveles de la sociedad, transformándose en medios para la expresión creativa tanto en su uso como en su desarrollo (Negroponte, 1995). La industria AEC está plenamente consciente de esta situación. La computación gráfica es el eje central de las CAVT. Las primeras manifestaciones gráficas computacionales requerían una máquina totalmente dedicada para proporcionar la imagen. No difería, en principio, del computador personal actual, pero ocupaba un cuarto grande y era extremadamente costosa. La computación gráfica nació como un medio para dibujar líneas que demandaba una gran cantidad de poder computacional para controlar el haz luminoso del tubo de rayos catódicos. Sólo diez años más tarde la computación gráfica empezó a desplazarse de la gráfica de dibujar líneas a una gráfica de formas e imágenes (Negroponte, 1995). La industria AEC está empezando a sacar partido de esto. En los últimos diez años el hardware y el software para la industria AEC, han estado más cerca de las instancias de investigación y desarrollo dentro de una pocas compañías de AEC y universidades, que de las aplicaciones prácticas en proyectos reales. En la actualidad, ese enfoque está cambiando, y algunos prototipos de investigación están abriéndose camino a la práctica. Si bien la investigación no se detiene, algunas herramientas de software y hardware comercialmente disponibles que han alcanzado un nivel adecuado de avance, son mucho más asequibles en precio y muestran cada vez una mayor facilidad de uso, que debiera permitir la aplicación masiva de las herramientas CAVT en la industria AEC en el futuro próximo.

La Computación Gráfica es el corazón mismo de las CAVT. A continuación se presenta una breve análisis acerca de los aspectos relevantes de la computación gráfica en la industria AEC.

La Computación Gráfica en la industria AEC está íntimamente ligada al Diseño Asistido por Computadora (CAD Computer Aided Design). Aquellos con experiencia en el mundo de la informática saben que el sector del CAD es uno de los más innovativos en la adopción de soluciones avanzadas (Montero, 1999). En sus inicios, el CAD era muy intensivo en tecnología, más allá de las potencialidades de la mayoría de los procesos computacionales, de las primeras imágenes en pantalla y de las potencialidades de los sistemas en ese entonces (Eastman, 1999).

La gráfica computacional del tipo CAD, depende de tres diferentes tipos de tecnologías computacionales:

- Tecnologías de Pantalla
- Capacidades de Procesadores
- Capacidades de Software



### 3.2 Tecnologías de Pantallas

La evolución de las tecnologías de pantallas nos ha permitido ir desde bajas resoluciones de pantallas monocromáticas, que no son capaces de desplegar mucho detalle o de rápidamente actualizar una pantalla, a monitores a gran escala y tarjetas gráficas de alto rendimiento que apoyan visualizaciones a color con una rapidez cada vez mayor (Eastman, 1999). Hay en la actualidad dos tecnologías fundamentales en uso, en relación a la información computacional que se muestra como imágenes en una pantalla la Pantalla de Cristal Líquido (LCD) y el Tubo de Rayo Catódico (CRT). LCD es una tecnología digital con un interruptor de luz, que enciende y apaga píxeles y toma una imagen de mapa de bits y la despliega en la pantalla, de manera que no hay vibración, ni distorsión, ni problemas con la geometría. Con un CRT, una pistola activa un haz de fósforo, que brilla y enciende la imagen en la pantalla. Cuando la pistola lanza el siguiente haz de fósforo, el primer fósforo todavía está brillando y se produce un destello que produce un bit y parpadeo. El fósforo no se apaga tan rápidamente como una pantalla LCD (Maclean, 2000). Tal vez la única noticia poco favorable sea que los grandes monitores planos de LCD, no bajarán de precio durante algún tiempo. De hecho, la oficina de IBM en Petersburg informa que el número de monitores de panel plano embarcados e instalados globalmente se está cuadruplicando. Pero los cuatro millones de paneles planos proyectados como producción global en 1999 todavía resultan altamente insuficientes si se comparan a los 100 millones de monitores CRT que se produjeron a nivel mundial en 1999 (Maclean, 2000).

La demanda por pantallas de mejor calidad crece con el aumento cada vez mayor de los computadores en general. En la industria AEC, no sólo el aumento cada vez más creciente de los computadores influye sobre la demanda por mejor tecnología de pantalla, sino que también las limitaciones que tienen relación con alcanzar un ambiente favorable para mejorar la cooperación entre múltiples participantes, identificadas en las interfaces existentes (Koo y Fisher, 1998). Como respuesta a estas limitaciones, la comunidad CIFE “Center for Integrated Facility Engineering”, en la Universidad de Stanford ha estudiado nuevas interfaces, específicamente la “Responsive Workbench” y el “Information Mural”, en los esfuerzos por desarrollar un entorno virtual para la planificación de la producción (Koo y Fischer, 1998)

### 3.3 Capacidades de Procesadores

En el transcurso de los últimos años, la cronología de los computadores gráficos de alta potencia ha estado asociada a mainframes con múltiples terminales gráficos, estaciones de trabajo de ingeniería y últimamente computadores personales. Conforme al propósito del uso de la computación gráfica, se establecieron requerimientos mínimos y máximos. Lo que en el pasado fueron requerimientos máximos, se han estado transformando constantemente en requerimientos mínimos en el futuro. El rango de precios de las estaciones de trabajo de ingeniería hace diez años, era típicamente de US\$ 10,000 a US\$ 100,000, siendo una estación de trabajo de US\$ 30,000 adecuada para la mayoría de las aplicaciones (Alciatore et al, 1991). La misma potencia, o incluso más potencia, comparada con las anteriores estaciones de trabajo puede encontrarse sin dificultad en la actualidad en un computador personal a un costo mucho menor. La potencia computacional ha aumentado 100 millones de veces desde fines de la década de los cincuenta con un aumento de 100,000 veces en potencia aparejado con una caída de mil veces en el costo (McGovern, 1999). Todo computador tiene uno o más procesadores. Ellos son los operarios que procesan los bloques de información que llevan a cabo las instrucciones dadas por los programas de software (Dertouzos, 1998). La *Ley de Moore*, denominada en honor de Gordon Moore, un fundador de Intel que por primera vez observó la relación (Dertouzos, 1998), es un factor definitivo en toda la industria moderna. Siguiendo a la *Ley de Moore*, se desarrollan los nuevos procesadores de los computadores aproximadamente cada dieciocho meses que son dos veces más poderosos y tienen aproximadamente la mitad del precio. Nadie ha perdido apostando a la *Ley de Moore*, o ha ganado apostando en contra de ella. Esta ley es un patrón que nos permite juzgar la conducta de incluso la más innovadora de las compañías (McGovern, 1999).

### 3.4 Capacidades de Software

En la industria AEC, en la actualidad el software disponible más avanzado se utiliza en la etapa de diseño. Un estudio de 1997 que se enfocó en todo el rango de uso de las TI reveló que las firmas de diseño tendían a igualar la tecnología de información con el CAD (Fallon, 2000). Los directivos de las firmas de diseño se han convertido claramente en los más interesados en el tópico de integrar la tecnología del CAD en forma efectiva en sus procesos de trabajo y en los atributos específicos que se requieren para que el CAD sea más efectivo para todos en la firma, no sólo para los dibujantes (Fallon, 2000). La industria de Procesos y de generación de Potencia es una parte importante de la industria de la construcción de la que otros sectores de la industria de la construcción podrían obtener grandes beneficios, si se lleva a cabo un proceso organizado de benchmarking. El diseño de plantas hace uso de las CAVT actualmente disponibles. Intergraph Process & Building Solutions es una organización global que provee de software y servicios a la industria de procesos, potencia y náutica. Lideran el mercado de software de diseño y visualización para el diseño de plantas de procesos en 3D con una participación de 59%, de acuerdo a lo señalado por el último análisis de Datarech en 1999. Los servicios proporcionados por Intergraph a sus clientes pueden parecer extraños para aquellos que no están en la industria de Procesos y generación de Potencia. Por ejemplo Intergraph provee Implementación y Puesta en Servicio, Asistencia en la Ejecución del Proyecto, Capacitación Personalizada, Servicios de Upgrade y Transición, Servicios Generales de Soporte del Sistema,



Programación Personalizada, Esfuerzos de Desarrollo Coordinados, y Soporte Técnico de Respuesta Rápida. No obstante, el software para diseño de plantas de procesos y generación de poder no es en modo alguno un paraíso.

La transferencia de datos de un sistema de software a otro es uno de los problemas más formidables en el flujograma del ciclo de vida de una planta. Los problemas se producen en las soluciones de software de punto a punto, cuando una nueva versión de software ingresa al mercado o se agrega un nuevo sistema. Asimismo, los sistemas no están diseñados para manejar la gestión del cambio, y con frecuencia hacen que los datos sean re-ingresados o crean problemas con posterioridad en el ciclo de vida de la planta. Para que el uso de los datos sea a prueba de fallas, los datos deben ser parte del activo de una planta, independientemente del sistema computacional que los generó, proporcionados en la forma más útil a las personas que los necesitan, digitados una sola vez, revisados con los cambios de control, y fácilmente disponibles para proyectos futuros (Foster, 1999).

La industria de la Construcción a través de la Alianza Internacional de Interoperabilidad (IAI) está haciendo grandes esfuerzos para abordar la falta de soluciones de software interoperables, que limitan la capacidad del diseñador para lograr cualquier forma de eficiencia en la productividad. (IAI, 1997). El IAI fue formado por doce compañías que participan en la industria AEC, interesadas en poder trabajar con la información de cada uno de los otros sin preocuparse del software que utilizaban o el que pudiera estar usando cualquier otro (IAI, 1997).

La introducción de nuevas tecnologías que apoyan a la interoperabilidad, creación y mantenimiento de un modelo común del proyecto, cambia el paradigma del software para la industria AEC y proporciona beneficios a futuro. Las CAVT deben estar conscientes de esto y deben convertirse en una parte central del proceso.

#### **4. ANALISIS DE LAS TEORIAS DE MODELACION DE PRODUCTOS Y DE PROCESOS**

##### **4.1 Adecuación de Modelos de Productos y Procesos**

Las Tecnologías de Información para la Industria AEC involucran la integración de todos los procesos de desarrollo de los productos y la gestión del flujo de información entre ellos, independientemente de los datos de los modelos de datos por los que se optó en las diferentes implementaciones para el mismo y único proceso (Scherer, 1994). La Modelación de Productos y Procesos son los tópicos fundamentales relacionados con el anterior enfoque, los que han concitado la mayor atención en los últimos años dentro de la investigación de las TI en la industria AEC.

La representación visual del producto del proyecto, que se asocia comúnmente a algún esfuerzo de modelamiento CAD en 3D, constituye el eje de los Modelos de Productos. Los diferentes enfoques han extendido la representación “física” del producto del proyecto, para que incluya no sólo a la información geométrica dentro de ella, sino también los datos subyacentes que apoyan a las diferentes actividades durante las diversas etapas involucradas en un proyecto AEC. El Modelamiento de Procesos ha estado buscando representar las tareas detalladas y transformaciones de entidades específicas entre actividades simultáneas orientadas a convertir el diseño en un pro producto construido.

Los esfuerzos de Modelamiento de Productos y Procesos están relacionados fundamentalmente con la comunidad de investigación. Los modelos de Productos y Procesos que provienen del mundo académico son, empero, muy diferentes a los modelos en 3D que se están desarrollando dentro de la industria AEC, especialmente aquellos dedicados al diseño. El estudio de la aplicación práctica de las tareas de modelamiento en 3D y 4D a un proyecto real, parte de la investigación en este trabajo, demostró que la verdadera preocupación de los proyectos reales son los resultados y las herramientas para lograr los resultados. Las herramientas son fundamentalmente el hardware, software y destrezas disponibles que se necesitan para utilizarlos. El conocimiento acerca del modelamiento de Productos y Procesos que provienen del mundo académico, generalmente es desestimado o desarrollado en una forma tácita, guiado más por el sentido común, que por un enfoque ordenado que se basa en técnicas, metodologías o prototipos que provienen del mundo académico.

Las CAVT requieren destrezas “computacionales” cada vez menores por parte de los ingenieros, y en esta forma los resultados se logran más rápido y con menor esfuerzo que sólo hace unos pocos años. Las aplicaciones CAVT a la industria AEC debieran permitir el necesario espacio entre los resultados y las herramientas, creando un nicho en donde el conocimiento acumulado sobre el modelamiento de productos y procesos podrá calzar, proporcionando grandes beneficios a la industria AEC, y comenzando una nueva etapa de investigación desde una perspectiva práctica, en lugar de pruebas con prototipos, que es el enfoque que se usa comúnmente.

Las CAVT llevarán a la transformación de los modelos de productos en Realidades Digitales. Con relación al modelamiento de procesos, el modelamiento del proceso de construcción que se apoya actualmente en la tecnología 4D, debiera ser el gatillo que ampliará las CAVT a la etapa de construcción de los proyectos AEC, permitiendo el logro de niveles de integración nunca antes vistos.

##### **4.2 Modelo 3D de Producto - La Realidad Digital**

De acuerdo con la filosofía racionalista tradicional, la diferencia entre “realidad” y nuestra comprensión de esa realidad, no constituye un problema, porque plantea que existe un mapeo bastante simple entre ambos. Nuestra habilidad para actuar inteligentemente en el mundo que nos rodea se debe a las imágenes mentales o representaciones del mundo real en torno a nosotros, que tenemos en nuestras mentes.



La industria Aeroespacial ha logrado transformar al mundo real que existe en forma de papel, en las mentes de los ingenieros y en los archivos computacionales, en una realidad digital visualmente disponible representada en un computador. Cuando se hace mención al Boeing 777 en la compañía Boeing, se refieren a él como el primer avión que no necesitó papel en el sentido de que tenía una definición ciento por ciento digital antes de dar inicio a su construcción (Onarheim, 1997).

Los entornos de Realidad Virtual (VR) y los entornos CAD, son las herramientas más comunes que se usan para producir sofisticados despliegues de información visual de modelos de Productos en 3D en una forma digital en la industria de la construcción. Sin embargo, si dieran premios por los mejores términos opuestos o contradictorios que se combinan, la realidad virtual sería ciertamente un ganador (Negroponte, 1995). Lo Virtual como opuesto a la Realidad plantea una enorme contradicción de ambas palabras en conjunto. Las “caminatas” a través de un modelo CAD en 3D producen una sensación de “estar allí”, aún si no se utilizan los anteojos y guantes electrónicos, que son los aparatos típicos de una realidad virtual. La Visualización en 3D que es la capacidad avanzada más obvia de los productos CAD ha sido identificada por los proveedores de CAD como el aspecto competitivo que les proporcionará más participación en el mercado CAD existente (Mahoney, 1999).

El nivel de detalle y las visiones realistas que los modelos de Productos en 3D pueden lograr al utilizar las CAVT, y que se lograrán en el futuro cercano, nos llevan a plantear que los modelos de Productos ya no son una simple representación de lo que será construido en el futuro, sino que ellos “existen” en una forma digital que llamaremos la **Realidad Digital** (DR Digital Reality).

El hablar de la **Realidad Digital** tiene más que implicaciones semánticas. El proceso de diseño, varía desde tratar de replicar el futuro mediante la representación del mismo con el uso de computadores, a una transformación de una realidad digital en un nuevo proceso de refinamiento de ésta. Este nuevo enfoque se desarrolla en forma paralela en una dimensión digital común, colaborativa y multidisciplinaria, tratando de alcanzar un diseño óptimo y construible. La realidad digital es en esta forma dinámica, a diferencia de un modelo de producto en 3D, que es estático. Aún más, las CAVT están evolucionando hacia una más fácil y más rápida simulación, a la vez que participan de la construcción de la Realidad Digital, dentro del computador, e incluso fuera de él con mecanismos como la “workbench response table” de la Universidad de Stanford (Koo y Fischer 1998). El uso generalizado de las CAVT nos hace visualizar el resultado de la etapa de diseño no tan sólo como información geométrica en modelos en 3D, sino también como modelos completos de visualización de la planificación y programación, es decir, representados en Modelos completos en 4D+? (Signo de interrogación puede representar el costo, la productividad, etc.), que pueden incluir el alcance y costo del proyecto además del tiempo (Staub y Fischer, 1999). También visualizamos las tareas de construcción como algo completamente transformado, al reducir el grado de incertidumbre que existía en el pasado en el lugar de trabajo. Las CAVT transformarán al lugar de trabajo de modo que no guarde ninguna semejanza con lo que conocemos hoy en día. De modo pues que la realidad digital expresada en dos palabras, representa para la industria de la construcción los cimientos sobre los cuales emergerán paradigmas completamente nuevos para los procesos de construcción y diseño transformando la forma en que los proyectos AEC se desarrollan incluso hoy en día con el uso “generalizado” de las tecnologías de información.

### 4.3 Modelando el Proceso de Construcción

Los diseñadores desarrollan realidades digitales y los contratistas necesitan construir estas realidades digitales. Esto también se puede hacer digitalmente antes de ir al lugar de trabajo.

La industria de la construcción descansa en procesos de complejidad variable para lograr cada tarea con la que se relaciona. Estos procesos son los medios que permiten la transformación de información abstracta en una realidad, que es la meta de un proyecto de construcción. Las simulaciones han sido usadas ampliamente para representar procesos de la industria de la construcción. En general, las simulaciones se refieren a la aproximación de un sistema con un modelo abstracto con el propósito de realizar estudios que ayudarán a predecir el comportamiento del sistema real (Alciatore et al, 1991). Un esfuerzo de modelación previo es esencial para desarrollar cualquier tarea de simulación. Los esfuerzos por desarrollar modelos deben invariablemente considerar las técnicas de modelamiento general sobre las cuales se basarán los nuevos modelos (Froese, 1995).

Dentro del contexto de la gráfica y simulación computacional, en los últimos años el modelamiento en 3D ha alcanzado un alto nivel de desarrollo en la industria AEC, en especial en la industria del Diseño de Plantas donde los modelos en 3D se han convertido en una parte inherente a cualquier diseño. Las CAVT disponibles corrientemente proporcionan las más avanzadas tecnologías para modelar visualmente los procesos de construcción, al permitir el desarrollo de modelos en 4D. Sin embargo, a pesar de su disponibilidad, este rasgo avanzado de las CAVT no ha sido implementado ampliamente en los proyectos AEC.

### 4.4 Tecnología 4D – El Gatillo del Impacto de las CAVT

Los modelos en 4D reflejan las realidades de la ejecución de proyectos mucho más realistamente que los enfoques usados en la práctica hoy en día (Fischer y Aalami 1999). El modelamiento en 4D se aplicó a un proyecto real como parte de la investigación presentada en este artículo. La planificación y programación se apoyaron en herramientas de



modelamiento en 4D disponibles en el proyecto. El conocimiento del personal de construcción se introdujo a los modelos en 4D, y se utilizó para generar programas del proyecto con software computacional. Lo anterior, unido a un estudio detallado y en profundidad de los enfoques teóricos y prácticos del modelamiento en 4D a nivel mundial, nos ha llevado a concluir que ésta es la tecnología que gatillará los cambios fundamentales esperados del impacto de las CAVT, descritos en este trabajo.

Gracias a los progresos computacionales, se espera que las CAVT reducirán en forma continuada el esfuerzo de modelamiento del proceso de construcción. Las CAVT y las tecnologías de modelamiento y en 4D están comercialmente disponibles en la actualidad, sin embargo no estamos sacándoles todo el partido. En el futuro, se espera que las CAVT permitirán la visualización del esquema de mapeo desarrollado para apoyar la relación entre las distintas representaciones jerárquicas de información de diseño, costo, control y programación representadas a distintos niveles de detalle (Staub y Fischer, 1999). De ésta forma, los proyectos AEC, que son sistemas altamente complejos con un alto grado de conectividad entre objetos y atributos, se convertirán cada vez más en algo más explícito con las aplicaciones de CAVT no limitadas a la etapa de diseño, sino también a la etapa de construcción de los proyectos AEC. Los beneficios de las CAVT se extenderán posteriormente a la totalidad del ciclo de vida de proyectos AEC. Esto reducirá la complejidad e incertidumbre, permitiendo modelos cada vez más realistas de productos y procesos dentro de la industria AEC.

## **5. PROYECTO EN ESTUDIO**

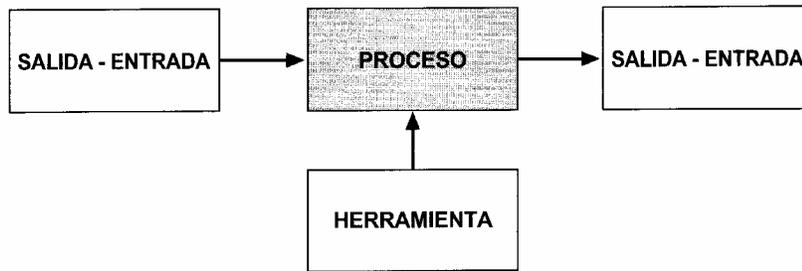
El estudio de las CAVT aplicadas por una empresa de Ingeniería y Construcción a un proyecto real fue desarrollado durante la investigación presentada en este artículo. El proyecto en estudio está siendo diseñado directamente en 3D utilizando CAVT. Los dibujos de planos en 2D no se descartarán, ya que van a ser el subproducto del esfuerzo de diseño utilizando el modelamiento en 3D, sólo al final de la etapa de diseño. Un modelo electrónico (realidad digital) a plena escala de la planta fue planificado para el proyecto, y las CAVT con poderosas capacidades para realizar una versión en 3D se están usando también, proporcionando un completo entorno de visualización para revisar en forma interactiva el gran y complejo diseño del proyecto en estudio.

El modelamiento en 4D y las simulaciones relacionadas con el movimiento de los elementos del modelo en 3D no fueron considerados originalmente. El hardware y las herramientas de software disponibles permiten sin embargo el desarrollo de estas actividades. Al tratar de sacar el máximo partido de las CAVT disponibles en el proyecto en estudio, el modelamiento en 4D y las simulaciones visuales para estudiar las tareas de montaje y erección, se introdujeron como parte de las tareas del departamento de construcción, cuando el diseño del proyecto estaba un 30% completo.

## **6. RESULTADOS DE LAS APLICACIONES DE CAVT AL PROYECTO EN ESTUDIO**

Las aplicaciones de CAVT al proyecto en estudio incluyeron un análisis, estudio y contacto intensivos con expertos en ITC (Information Technology in Construction) que se llevó a cabo como parte de la investigación que se presenta en este documento. Se presentan tres procesos principales de la etapa de diseño de un proyecto AEC en esta parte, a manera de ejemplo, con el propósito de mostrar los resultados del estudio sobre el impacto de las CAVT en la industria AEC. Una adaptación del método IDEF0 que se muestra en la Figura 1, será utilizada para modelar los procesos apoyados por una organización típica de proyectos AEC, con las siguientes consideraciones: (1) los datos de salida de un proceso pueden convertirse en datos de entrada de otro proceso, (2) la representación de los procesos no son dependientes del tiempo.





**Figura 1. IDEFØ adaptado para la representación de procesos**

### 6.1 La Realidad Digital en la Práctica

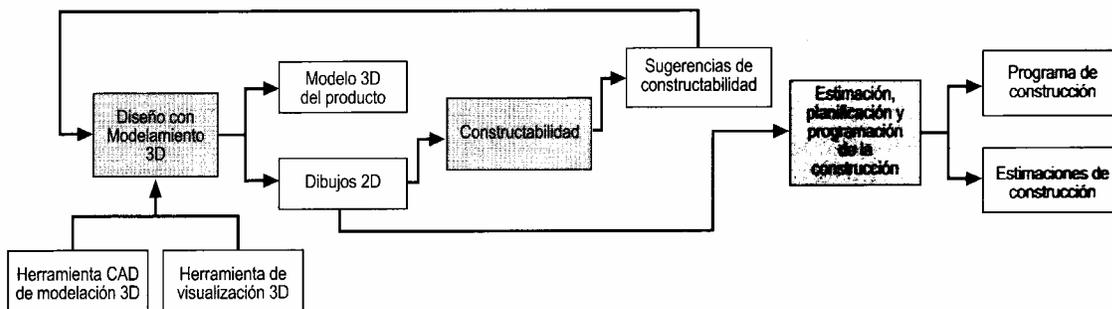
La Figura 2 muestra un ejemplo simplificado de un modelo que representa los tres procesos principales, estudiados en el proyecto durante la etapa de diseño:

- Diseño utilizando Modelamiento en 3D (A)
- Constructabilidad (B)
- Planificación y Programación de la Construcción (C)

El modelo corresponde al estado del proyecto antes de ampliar la aplicación de las CAVT al modelamiento de 4D y a las simulaciones visuales de las tareas de erección y montaje. Como puede apreciarse, los procesos (B) y (C), no estaban utilizando y ni siquiera sacando pleno partido del proceso de diseño de modelamiento en 3D.

Hay numerosos actores involucrados en varias etapas durante el ciclo de vida del proyecto, y todos ellos agregan y recuperan información. Sin embargo, aún en la actualidad, en medio de una de las más grandes revoluciones de la información en la historia, una parte considerable de este trabajo aún se realiza en forma manual (IAI, 1997) utilizando documentación basada en papel (por ejemplo, planos en 2D). Esta no es la situación en el proyecto en estudio. Las CAVT se utilizan en el proyecto en estudio, en forma de modelamiento y herramientas de visualización CAD en 3D para la etapa de diseño del proyecto. A pesar de que el proyecto no saca ventaja completa de las CAVT, el esfuerzo de modelación de productos se parece al enfoque de realidad digital que se presenta en este documento, y proporciona los siguientes beneficios al proyecto:

- Un mejor desarrollo del proceso de diseño
- Una mejor coordinación interdisciplinaria durante el diseño
- Un mejor control de cantidades de materiales
- Cero interferencias con el propósito de ahorrar en costos de construcción
- Una mejor comunicación y cumplimiento de las necesidades del cliente
- Verificación del mantenimiento y operabilidad

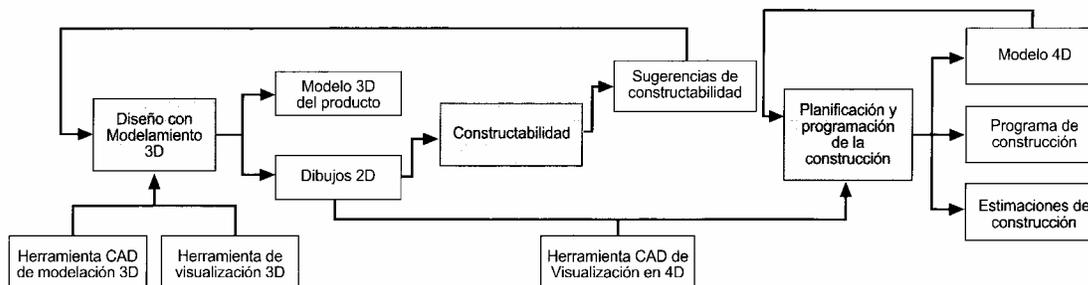


**Figura 2. Modelo de procesos - enfoque existente**



## 6.2 Modelamiento en 4D y Simulaciones – Ampliando el uso de las CAVT

La Figura 3 muestra un nuevo modelo de los procesos en el proyecto en estudio que se presenta en este documento, después de la aplicación del modelamiento en 4D y las Herramientas de Visualización para simular las erecciones de estructura y el montaje del equipo, ampliando las aplicaciones de CAVT en el proyecto. Este nuevo modelo muestra cómo los procesos (B) y (C) llegan a ser apoyados completamente por las CAVT.



**Figura 3. Modelo de procesos - enfoque mejorado**

La introducción del modelamiento en 4D y las simulaciones al proyecto, fue llevada a cabo por el departamento de construcción como una nueva actividad. Se esperan grandes beneficios para la etapa de construcción del proyecto, y la etapa de diseño del proyecto también obtuvo beneficios directos por la ampliación de la aplicación de las CAVT en el proyecto. Los principales beneficios de la ampliación de la aplicación de las CAVT en el proyecto se presentan a continuación:

- Las tareas de Planificación y Programación de la Construcción apoyadas por la modelación en 4D y simulaciones llevó a programaciones realistas y más detalladas. El personal de Construcción discutió los temas de planificación y programación en torno a los entornos visuales de los modelos en 4D. Aún cuando las nuevas programaciones eran más amplias que antes, los gráficos de barra del software de programación fueron raras veces revisados e incluso impresos. Todo elemento y actividad en los modelos en 4D fueron designados fácilmente en la terminología de construcción, y usando atributos de filtrado del software de programación, fue fácil encontrar actividades a ser modificadas en un proceso interactivo e iterativo de planificación y programación usando modelos en 4D y simulaciones en sesiones diarias.
- Las revisiones de constructabilidad se convirtieron en una consecuencia lógica de los esfuerzos de planificación y programación apoyados por las CAVT. Mientras se planificaba la secuencia de construcción visualmente, las sugerencias de constructabilidad surgían de manera natural. Esto llevó a una mejora en la calidad de las sugerencias de constructabilidad e incluso a la detección de problemas que probablemente no hubieran sido detectados si sólo se apoyaran en los planos en 2D.
- La comunicación de los problemas de constructabilidad al personal de diseño mejoró dramáticamente con el uso de los modelos en 4D. Esto llevó a una ganancia incremental en la Integración del Proceso de Diseño-Construcción.
- Se logró una correlación total del plan de Construcción con el modelo de Diseño e Ingeniería.

## 63 Estructuras Organizacionales

El programa de entrega de una planta para un proyecto, depende de los detalles del producto, los métodos utilizados en el proceso de diseño y construcción, y el diseño y desempeño del desarrollo de la organización (Kunz et al, 1999). La ampliación de las CAVT de los modelos en 3D a 4D y el uso de simulaciones no fue originalmente considerada para el proyecto en estudio. Aún cuando los métodos en el proceso de diseño y construcción fueron mejorados, la organización original demostró no estar preparada para aprovechar completamente las herramientas y mejorar el desempeño.

Los mecanismos de coordinación fueron difíciles de implementar entre la nueva actividad en el departamento de construcción y el resto de las actividades del proyecto. La nueva actividad no sólo fue nueva en el sentido de que nunca había sido utilizada en el proyecto antes, sino que también era novedosa para casi todas las personas involucradas en el proyecto. Algo similar ocurrió con los mecanismos de dependencias para la *nueva* actividad, que fueron difíciles de relacionar con el resto de las actividades usando las relaciones de dependencia existentes en el proyecto.



Al extender la definición de ser un agregado de individuos cada uno de ellos responsable de tareas definidas (Kunz et al, 1999), a sus procesos y sus dependencias y mecanismos de coordinación (Malone et al, 1999), se puede observar que la organización actual para el proyecto de estudio constituía un obstáculo, en lugar de ser un facilitador de una eficiente aplicación de las CAVT.

## 7. CONCLUSIONES

Las CAVT han sido definidas en un contexto evolutivo en este artículo, lo que no debería restringir sus aplicaciones a una herramienta particular, sino que en lugar de ello debería dejar abiertas las puertas para abarcar nuevas CAVT en la medida en que aparezcan. Las CAVT nos permiten visualizar la parte geométrica de un proyecto AEC, tanto como la información subyacente. Las CAVT son una realidad ahora y la industria AEC no está sacando partido de ellas. El avance de las CAVT ha sido vertiginoso. Si no estamos sacando todo el partido de ellas ahora, ¿cómo podremos sacar partido de las nuevas CAVT que surgen en forma constante? y ¿cómo participaremos activamente en su desarrollo? Esta investigación ha proporcionado importantes comprensiones que se derivan de un enfoque que acerca a la comunidad académica y la práctica AEC. Este enfoque favorecido en el futuro debería traer beneficios no sólo en términos de impacto de las CAVT, sino también de la investigación y aplicación de las TI en la industria AEC.

El impacto de las CAVT en la industria AEC se relaciona con las mejoras producto de la integración y de la cooperación, que llevará a más económicas, más rápidas y mejores formas de desarrollar los proyectos AEC. El principal impacto de las CAVT va más allá de las actuales y bien conocidas mejoras, a un nuevo e insospechado ritmo de mejoras en la industria AEC. La prontitud con que incorporaremos las CAVT, no a medias, sino al menos en la forma en que han sido presentadas en este trabajo resulta una incertidumbre.

La industria de la generación de Potencia y de Procesos es un sector de la ingeniería y construcción del que debiéramos estar más conscientes. Tiene muchas semejanzas con el resto de la industria AEC, y debiéramos sacar partido de sus progresos utilizando un enfoque de benchmarking. Algunas compañías de Ingeniería y Construcción han logrado progresos significativos en comparación con el resto de la industria que utiliza las CAVT. Sin embargo no han abordado el tema en una forma tal que les permita sacar pleno partido de las CAVT. En el futuro, algunas de estas compañías podrán mantener su posición de liderazgo, en tanto que otras lo perderán frente a nuevas y tal vez más pequeñas compañías que se transformarán radicalmente para asimilar en forma cabal la aplicación de las CAVT en la industria AEC.

## 8.- REFERENCIAS

- ALCIATORE, D., O'CONNOR, J., DHARWADKAR, P. (1991)**, A Survey of Graphical Simulation in Construction: Software Usage and Application, Construction Industry Institute, Documento fuente 68
- BENTLEY, G. (1998)**, Greg Bentley's Remarks from A/E/C Systems.
- BJÖRK, B.C. (1999)**, Information Technology in Construction: Domain and Research Issues, International Journal of Computer-Integrated Design and Construction, 1(1), 3-16.
- DERTOUZOS, M. (1998)**, What will Be, HarperEdge
- EASTMAN, CH. (1999)**, Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction, CRC Press LLC, Estados Unidos,
- FALLON, K. (2000)**, Guest Columnist Kristine Fallon on IT, AEC and Design Firms, Bentley News, (<http://www.bentley.com/news/commentary/2000q1/kfallon.htm>)
- FISHER, M., AALAMI, F. (1999)**, Cost-Loaded Model for Planning and Control-Cost-loaded Production Model. Vancouver, BC, Canada, 8dbmc, Durability of Building Materials & Components 8, Volume 4, Information Technology in Construction, CIB W78 Workshop, NRC Research Press, Ottawa, 2813-2824
- FROESE, T. (1995)**, Models of Construction Process Information, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE
- FOSTER, W. (1999)**, "The shape of things to come, Using data to transform process industry corporations in the global marketplace" Intergraph Global Link Magazine, Number 4.
- IAI (1997)**, IFC End User Guide, Industry Foundation Classes - Versión 1.5  
Knowledge Based Systems, Inc. (1994). IDEF% Method Report, Information Integration for Concurrent Engineering.
- IDEFO Overview**, (<http://www.idef.com/overviews/idef0.htm>)
- KOO, B., FISHER, M. (1998)**, Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction, CIFE Informe Técnico # 118, Universidad de Stanford.
- KOSKELA, L. (1992)**, Application of the New Production Philosophy to Construction, CIFE Informe Técnico # 72, Universidad de Stanford.



- KUNZ, J., FISCHER, M., KIM, J., NASRALLASH, W., LEVITT, R. (1999)**, Concurrent Engineering of Facility, Schedule and Project Organisations, International Journal of Computer Integrated Design And Construction, 1, N° 2, págs. 35-45
- MALONE, W., CROWSTON, K., LEE, J., PENTLAND, B., DELLAROCAS, C., WYNER, G., QUIMBY, J., OSBORN, CH., BERNSTEIN, A., HERMAN, G., KLEIN, M., O'DONELL, E. (1999)**, Tools for Inventing Organisations: Toward a Handbook of Organisational Processes, Management Science 45(3) págs. 425-443
- MCGOVERN, G. (1999)**, The Caring Economy-Business Principles for the New Digital Age, BlackHall Publishing, Irlanda
- MCKINNEY, K., FISHER, M. (1998)**, Generating, Evaluating and Visualizing Construction Schedule with CAD Tools, Automation in Construction, 7, 433-447.
- MACLEAN, S. (2000)**, Monitors 2000-CRT's Still Reign as Flat Panel Cost Stay High, Microstation Manager Magazine, Vol. 10, N° 1.
- MAHONEY, D. (1999)**, "All Eyes in CAD" Computer Graphics World, Vol. 22, N° 5, Mayo.
- MONTERO, R. (1999)**, "El CAD en Internet" Revista PC World-España, N° 155, Junio.
- NEGROPONTE, N. (1995)**, Being Digital, Alfred A. Knopf, New York.
- ONARHEIM, J. (1997)**, Information Technology and Knowledge Processes, News and Topics / Statoil Forum (<http://fag.grm.hia.no/ikt4200/Litteratur/doc/ITOGKunnskapsprosesser.htm>)
- RISCHMOLLER, L., FOX, R., WILLIAMS, M., ALARCON, L. (2000)**, Automation and Visualization Tools to Improve Support for Process Integration in the Construction Industry, International Conference in Construction Information Technology 2000 (INCITE 2000), Honk Kong, Jan 17-18
- SCHERER, R.J. (1994)**, Integrated Product and Process Model for the Design of Reinforced Concrete Structures, in: Proceedings of the 1st Workshop of the European Group for Structural Engineering - Applications of Artificial Intelligence, Lausanne (EG-SEA-AI), Federal Institute of Technology (EPFL) Lausanne.
- STAUB S., FISHER M. (1999)**, The Practical Needs of Integrating Scope, Cost and Time-Integrating scope, cost and time, Vancouver, BC, Canada, 8dbmc, Durability of Building Materials & Components 8, Volume 4, Information Technology in Construction, CIB W78 Workshop, NRC Research Press, Ottawa, 2888-2898
- TAPSCOTT, D. (1998)**, Creciendo en un Entorno Digital-La generacion Net, McGraw Hill

***Leonardo Rischmoller,***

Candidato a Doctor, Departamento de  
Ingeniería y Gestión de la Construcción,  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Ingeniero de Construcción, Bechtel Group, Inc.  
Santiago, Chile

Ph. D. Candidate, Department of Construction  
Engineering and Management  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Construction Engineer,  
Construction Engineer, Bechtel Group, Inc.  
lxrichmo@bechtel.com  
Santiago, Chile

***Luis F. Alarcón***

Profesor Titular, Departamento de  
Ingeniería y Gestión de la Construcción,  
Director, Programa de Excelencia en Gestión de Producción  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile

Professor, Department of  
Construction Engineering and Management  
Director, Production Management Program  
Pontificia Universidad Católica de Chile



lalarcon@ing.puc.cl  
Santiago, Chile

**Martin Fischer**

*Profesor Adjunto,  
Ingeniería Civil y Medioambiental  
David Filo and Jerry Yang Faculty Scholar  
Director, Centro de Ingeniería Integrada  
Stanford University  
Estados Unidos*

*Associate Professor,  
Civil and Environmental Engineering  
David Filo and Jerry Yang Faculty Scholar  
Director, Center for Integrated Facility Engineering  
Stanford University  
USA*

**Robert Fox**

*Ingeniero de Proyecto  
Escondida, Fase IV, Proyecto de Expansión  
Santiago, Chile*

*Project Engineer  
Escondida Phase IV Expansion Project  
Bechtel Group, Inc.  
Santiago, Chile*

