

MDC_ MODELADO DIGITAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES EN PROCESOS CONSTRUCTIVOS

ANDREA LILIANA SANCHEZ HERRERA

Arquitecta. Universidad Nacional de Colombia. 2003
Estudiante programa Maestría en Construcción
Universidad Nacional de Colombia

MDC_ MODELADO DIGITAL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS DIGITALES EN PROCESOS CONSTRUCTIVOS

*Tomar decisiones rápidamente es una tarea fácil,
cualquier tonto puede hacerlo;
Tomar buenas decisiones rápidamente
es lo que puede ser muy complicado.
Tom Sawyer¹.*

INTRODUCCIÓN

Las herramientas informáticas y la tecnología han puesto al alcance de los profesionales valiosas herramientas para potencializar y optimizar las formas del quehacer profesional, “en la actualidad la representación de la arquitectura está estrechamente ligada al uso de las herramientas digitales, agilizando los tradicionales medios de representación y constituyéndose en valiosa herramienta para la producción de ideas”(Toro, 2003), en el desarrollo de información del proyecto y coordinando todos los aspectos del diseño y del proceso constructivo; más sin embargo, pocos son los profesionales y las empresas que los usan y que tienen la capacidad económica y personal instruido en su dominio, siendo ahora de mucha utilidad evaluar el potencial del uso de estas herramientas en la actividad y proceso constructivo. Una de las formas de optimizar la construcción y por ende los proyectos, es la utilización de herramientas digitales en las cuales se maneja la información del proyecto y todos los datos relacionados con el mismo; en la actualidad desde el dibujo hasta las etapas constructivas son factibles de ser manejadas digitalmente y pueden ser evaluadas mediante simulaciones, imaginando o previendo los diversos escenarios o situaciones posibles, lo cual en la realidad sería costoso de evaluar en escala real. Este artículo se basa en el proyecto de grado titulado MODELACIÓN DIGITAL CONSTRUCTIVO, en el cual se presenta el desarrollo de modelos tridimensionales digitales de procesos constructivos con el fin de demostrar la validez y ventajas que representa su uso dentro de las actividades de diseño y planeación de proyectos de construcción en el ámbito nacional. Se desarrolla el concepto de MDC (Modelo Digital constructivo), como la herramienta planteada para la implementación y uso de sistemas informáticos, entre los que se encuentran CAD (principalmente), CAM Y CAE y herramientas sencillas de combinación y creación de vínculos con tablas, información escrita y documentos para proyectos de construcción.

¹ SAWYER. Tom. 3-D Imaging. Maturing visualization tools make ideas look real; concepts are conveyed more swiftly when simulations and 3-D imaging come into play.

DEFINICIÓN

El MDC (Modelo digital constructivo) es la aplicación de plataformas de software para que los equipos de construcción realicen proyectos constructivos a través de la tecnología digital, significa el uso y desarrollo de un modelo icónico – análogo para el análisis y evaluación del diseño y edificación mediante la aplicación de plataformas de software, en términos netamente constructivos. El MDC es el modelo tridimensional del proyecto y su procedimiento constructivo, incluyendo la maquinaria, equipos y materiales empleados², incluye también de rutas de manejo de los mismos, esquemas de formas de colocación y previsión gráfica de maquinaria a emplear, interferencias entre actividades y simultaneidad de las mismas.

Los principales objetivos del uso del MDC son:

- Visualización del proyecto constructivo.
- Ayuda y soporte para la estimación de costos y rendimientos con mayor exactitud.
- Integración de datos del constructor, la forma del proyecto y procesos constructivos a emplear.
- Reducción de errores, omisiones y retrabajos en campo.
- Coordinación real del proyecto, trabajando en detalle los elementos de la construcción, determinando requerimientos constructivos que a su vez posibilitan la auditoria del proyecto construido.

El MDC adapta el concepto desarrollado en otras investigaciones y por diversos autores, que han denominado a esta integración, *modelo 4D*, definido como un modelo CAD tridimensional cuyos elementos constituyentes están vinculados a un programa de construcción, que por medio de programas especializados permiten visualizar virtualmente la construcción del proyecto (Mourgues, Fischer. 2001). En este caso se trata de una aplicación de herramientas sencillas, las de mayor y común uso, y más que todo una metodología de diseño, concepción y dibujo de una *construcción virtual* que asuma y tenga dentro de su documentación la mayor cantidad de información del proyecto para los usuarios, constituyendo una herramienta de soporte de la fase de diseño y ejecución del proyecto. Son muchos los estudios en el desarrollo de herramientas digitales aplicadas a la construcción, ente estos se destaca el que desde 1993 el Centro para Integración de Facilidades en Ingeniería (CIFE) de la Universidad de Stanford se ha estado realizando, al desarrollar productos basados en la integración de diversos software para aplicaciones en la construcción, y de la cual publicaciones especializadas en la construcción han referenciado los avances y perspectivas que tiene para su aplicación en la construcción en el ámbito latinoamericano y mundial³. También desarrollos y aplicaciones en ingeniería, modelo computacional de simulación de procesos constructivos (Granados, 2001; Córdoba y Delgado 2002) y Optimización de procesos constructivos fundamentada en la recolección de datos y simulación digital (Jaramillo, 2004).

²Modelo 4D, en el cual las características e información constructiva es la cuarta dimensión del proyecto. (Mourgues, Fischer. 2001).

³ En la revista Bit . La revista Técnica de la construcción en el No 21 de Marzo del 2001.

La industria AEC (arquitectura, ingeniería y construcción) recién está vislumbrando el impacto real que pueden llegar a tener las tecnologías de información sobre su trabajo cotidiano. Conceptos como modelos de productos y procesos , e- business, tecnologías de visualización , etc., aún son vistos como aplicaciones propias de la industria manufacturera, poco aplicables a proyectos civiles. Sin embargo esta visión está cambiando y algunas empresas ya explotan estas herramientas como una forma de producir real integración de las distintas fases de los proyectos civiles.

MOURGUES. Claudio, FISCHER. Martin. Tecnologías de información : investigaciones aplicadas a la industria de la construcción.

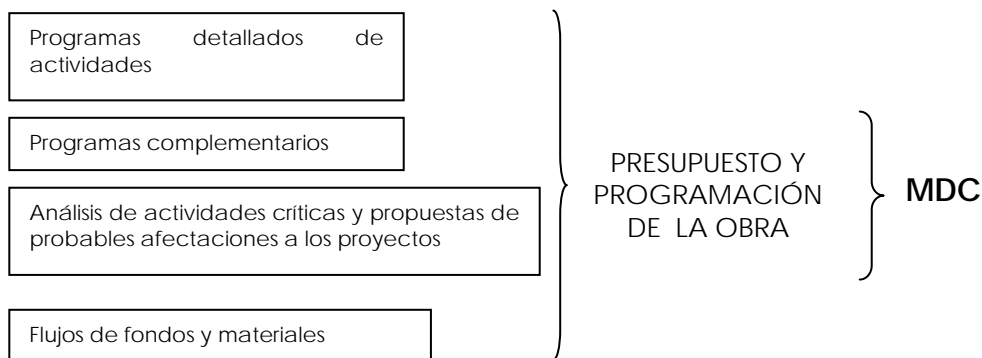
RESEÑA HISTÓRICA

La utilización de herramientas digitales en la labor de planeación de un proceso constructivo carece de valor de manera independiente, puesto que es el conjunto conformado por todos los componentes y elementos del proyecto lo que permite su culminación; la programación se desarrolla estrechamente ligada al proceso constructivo específico de la obra a ejecutar, pero también se condiciona por aspectos económicos, administrativos, y ambientales; así mismo, el presupuesto delimita la forma de manejo de materiales y la búsqueda de mejor rentabilidad y/o productividad implica cambios en todos los elementos de la construcción.

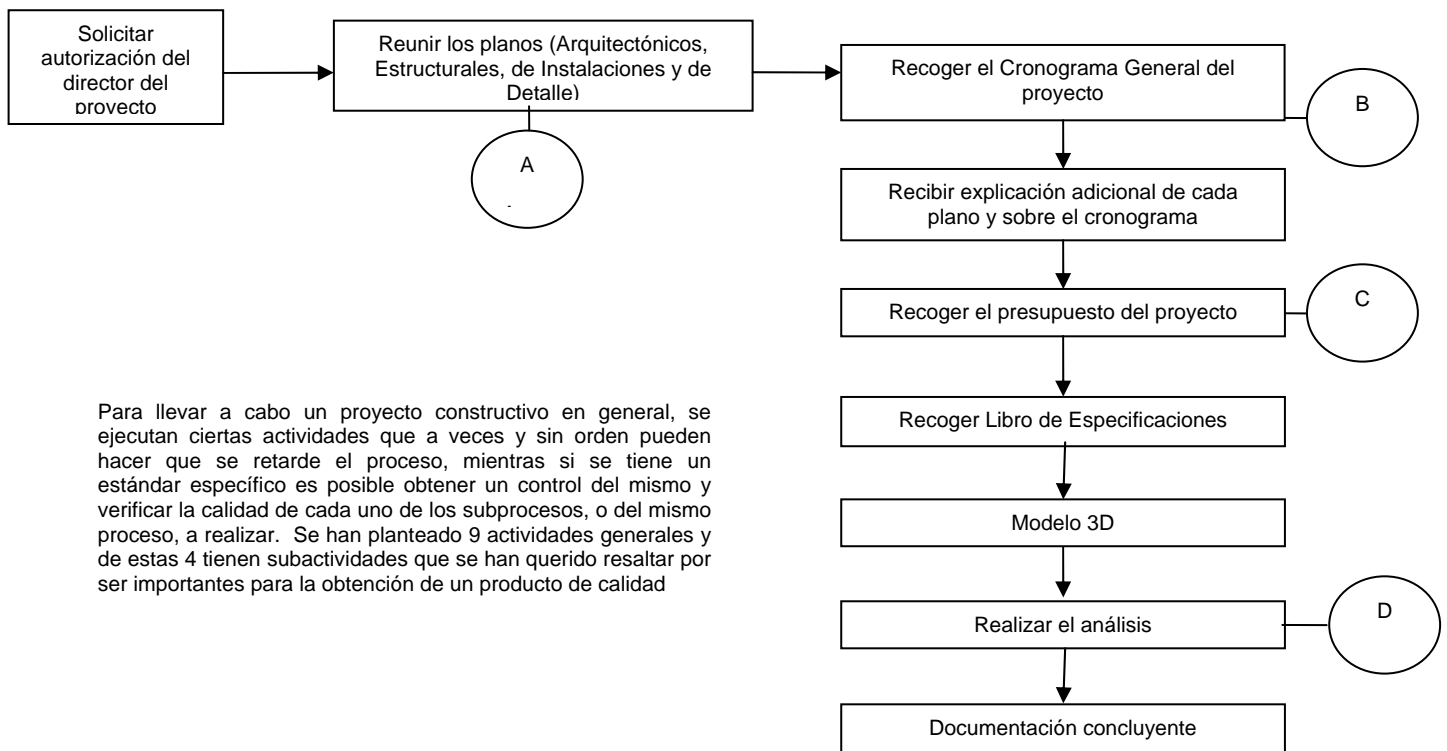
Los componentes técnicos dentro de la edificación se diseñan y desarrollan paralelamente al proceso de diseño arquitectónico y constructivo y tienen grandes implicaciones en el planeamiento de la obra y en el planteamiento de manejo de los recursos. En resumen, la combinación y el manejo adecuado de toda la información del proyecto conforman un conjunto que permite la ejecución de las obras pero independientemente son productos incompletos e inconsistentes.

El MDC involucra el concepto de simulación de procesos en tanto se realiza la programación de actividades involucrando las precedencias, los materiales y la interdependencia con otras actividades, estableciendo también las relaciones no lineales entre actividades. En general, para el proceso de construcción del MDC se formula la pregunta constante de, ¿que pasa si...?; desarrollando interdependencias que imitan el funcionamiento de la obra en la realidad y permitiendo el análisis del desempeño del sistema con respecto a varios factores (mencionados anteriormente, como los factores ambientales, distribución de maquinaria, elementos físicos, etc.), implementando un *modelo virtual* que se evalúa por parte de un equipo interdisciplinario que ha de ser constituido o tiene el soporte y colaboración de diseñadores, constructores, y demás intervinientes en el proyecto constructivo, que debe ser elaborado por personal no solo experto en herramientas informáticas sino también en procesos constructivos.

El **MDC** se basa en toda la documentación y gráfica del proyecto, por esta razón y en vista de establecer una estrategia para su desarrollo, se realizan varios modelos piloto, determinando que como primera fase se debe realizar la documentación del proyecto así:



Esquema de desarrollo del MDC. Fuente el autor.



METODOLOGÍA DE APLICACIÓN

1. Etapa de análisis:

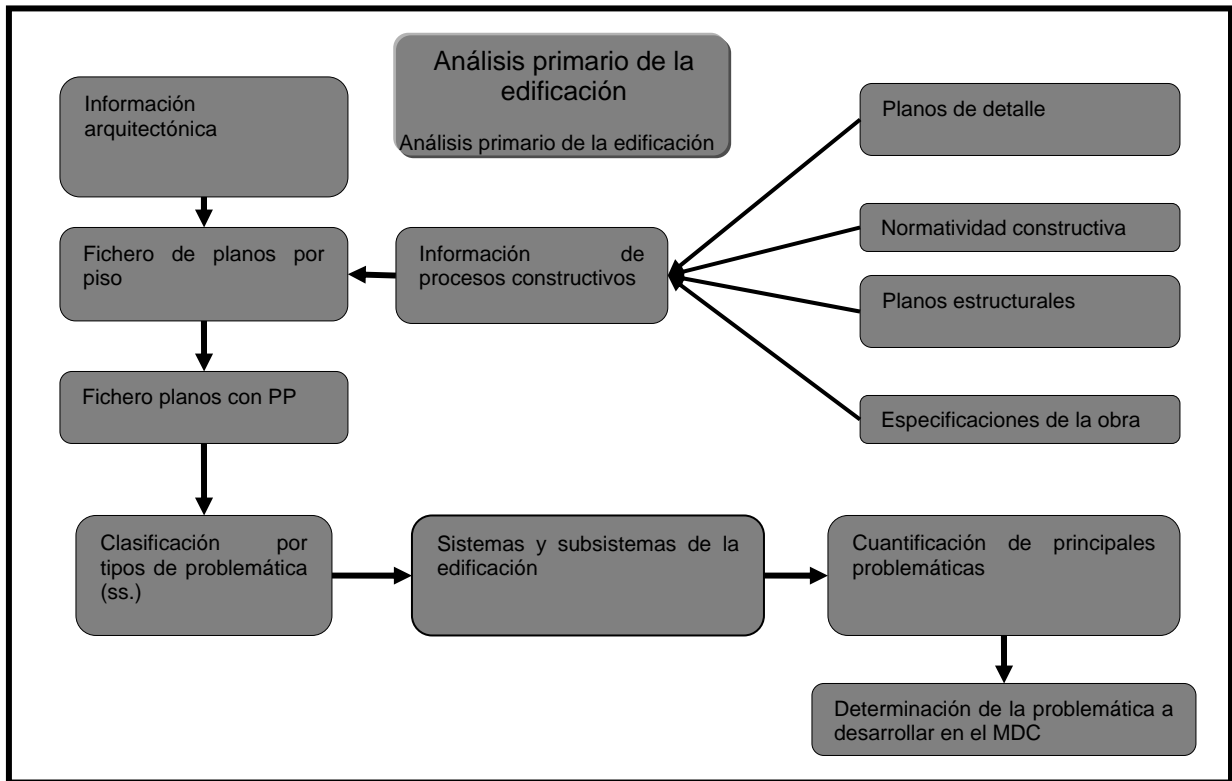
Análisis por sistemas de la edificación: Se clasifican según el siguiente criterio, entendiendo el edificio como un organismo vivo:

- Cimentación y estructura (sistema portante)
- Cerramientos (piel)
- Muros divisorios (órganos internos)
- Instalaciones
- Circulación
- Cubierta
- Exteriores

Discriminación por tipología arquitectónica de espacios y análisis funcional.

Discriminación por tipo de estructura y características de elementos divisorios.

Análisis buscando puntos de la edificación, donde se identifican posibles dificultades constructivas o puntos sin resolver, (donde se requiere un detalle constructivo), o aquellos en donde se identifican también posibles confluencias de instalaciones o estructura-muros de cerramiento y divisorios.



Esquema de análisis de la edificación. Fuente el autor

2. Etapa de Modelado:

Se definen varias etapas para el desarrollo del modelo tridimensional, las cuales se especifican a continuación:

Fase I

Elaboración del Bosquejo del proyecto:

- Modelo topográfico con ubicación de las vías y predios existentes.
- Modelo básico de cimentación planteada en estudio de suelos
- Tabla de datos con especificaciones previstas para obras preliminares.
- Modelo de excavaciones
- Modelo de patios y equipos (comparación con volúmenes de construcción)
- Distribución de espacios para el funcionamiento de la obra, campamento, vestier, restaurante, almacén...etc.
- Tabla con criterios para el planteamiento de la obra

Fase II

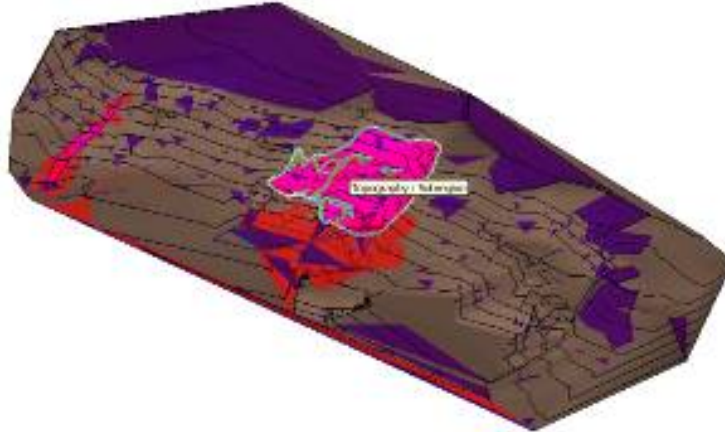
Prediseño de la construcción: Esta etapa requiere la clara identificación de los procesos constructivos a emplear en la edificación, según las especificaciones estructurales y arquitectónicas.

- Programación general de la obra
- Programaciones específicas por capítulos
- Planos de instalaciones con detalles, alzados y cortes.
- Modelo esquemático de la estructura de la edificación.
- Detalles arquitectónicos y constructivos: dibujos y esquemas que indiquen claramente las diferentes particularidades de los elementos constructivos componentes de la edificación.
- Información detallada sobre equipos, maquinaria y materiales y a utilizar en la obra.

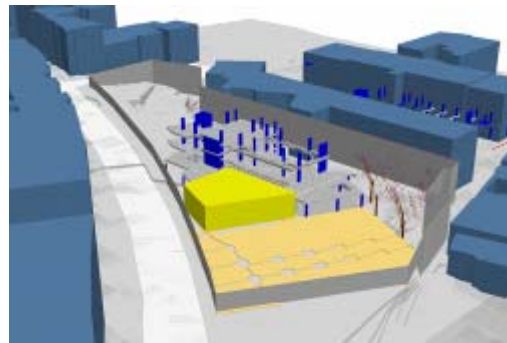
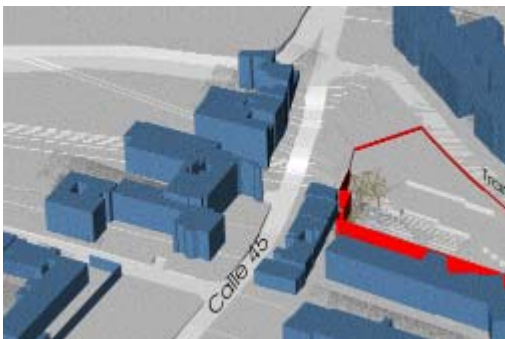
Fase III

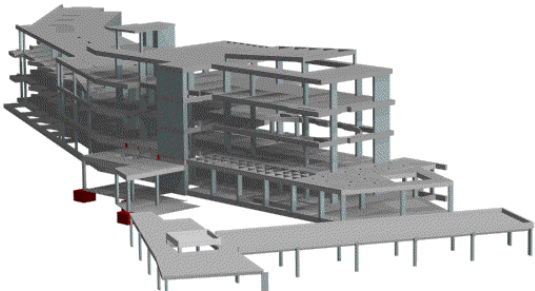
Modelo digital (MDC) preliminar: Desarrollo del modelo tridimensional mediante la interrelación de toda la información previamente detallada.

Según el punto 1, para este se comienzan a realizar bosquejos o preliminares de los diferentes sistemas de la edificación, mediante el modelo tridimensional de sus componentes en la totalidad de la edificación, con un grado de detalle bajo.



Topografía del proyecto generada en Autodesk Revit. Fuente el autor.





Secuencia de ejecución del MDC, localización, linderos y topografía, esquema de estructura, estructura terminada. Fuente el autor.

Como parte del análisis consiste en Identificar posibles problemáticas en la edificación, tanto sobre la información planimétrica como la información 3D que se esta generando, se debe hacer la documentación de lo encontrado mediante el registro en archivos del modelo en los cuales se resalta la problemática:

- Tablas de puntos críticos de la edificación.
- Archivos digitales con modelos piso a piso de la construcción.
- Registro gráfico de las problemáticas encontradas.

Dada la complejidad que implica el planteamiento de todas las obras ejecutadas para la edificación y para facilitar el manejo del proyecto, se define la realización de modelos parciales con actividades por capítulos de obra y sectores de la misma, a partir del modelo base, se define cuales sistemas se van a detallar y se completan los modelos esquemas con la siguientes información:

- MDC clasificando el tipo de elemento (Ej. Col tipo 1 Piso 1), material (Ej. Muro en MPH No5) y si es del caso por altura o tipo (Ej. Enchape en MSFV), para poder hacer una lectura más rápida del modelo.
- Modelos clasificando las secuencias de colocación, agrupando en bloques los elementos, junto con información en cuadros de texto anexos.

Según las especificaciones se establecen las diferentes posibilidades o procesos constructivos que se pueden utilizar, se modelan (esquemáticamente) equipos, maquinaria y materiales utilizados (los cuales se pueden mantener en una biblioteca de dibujos) y se plantean según dimensiones reales, archivo con el cual se realiza una animación o muestra de la secuencia del proceso.

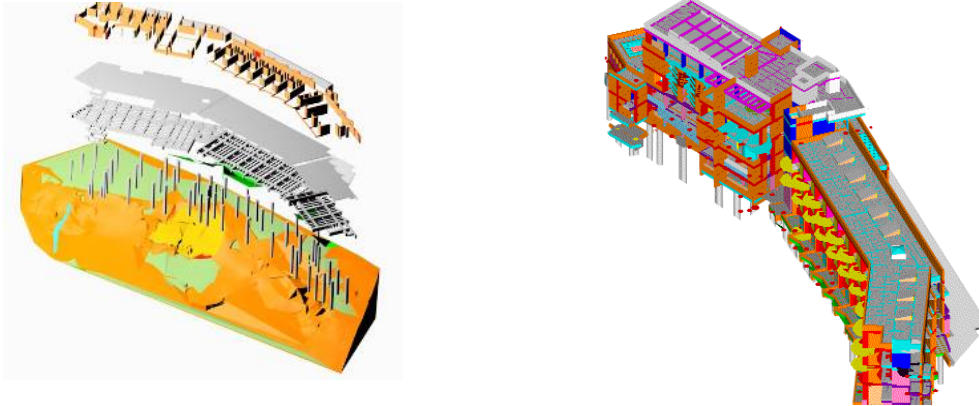
Coordinación arquitectónica del diseño y la documentación técnica⁴:

Según los subsistemas identificados en la edificación, se hace a su vez una revisión de normas y requerimientos técnicos y estructurales verificando el cumplimiento de la normativa y reglamentación vigente aplicable a la construcción, así como la identificación de puntos no detallados o que no corresponden con la documentación planimétrica entregada.

⁴ Este criterio se toma interpretando el concepto de las etapas de coordinación del proyecto arquitectónico, contenidas en *Documentaciones sobre práctica profesional* del Consejo profesional nacional de Arquitectura y sus profesiones auxiliares. Colombia.

MDC General

Una vez se han desarrollado los modelos de estructura, instalaciones, cerramientos y muros divisorios, se procede a realizar el montaje por pisos de cada uno de estos subsistemas, generando:

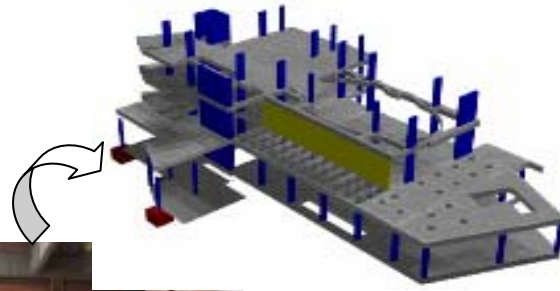


- MDC de cada piso
Perspectiva con los elementos del MDC de cimentación, pilotes, placa y muros de semisótano del proyecto piloto.
- MDC general de la construcción
- Perspectiva con el MDC completo del proyecto piloto

MDCs parciales

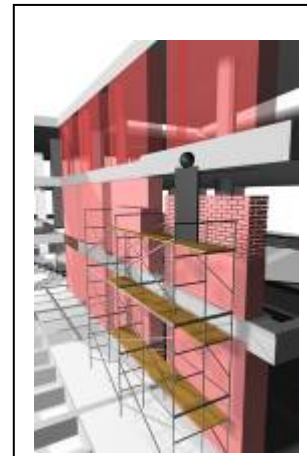
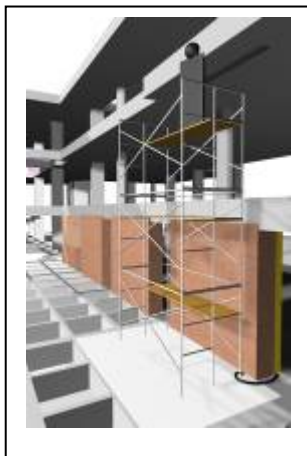
Para efectos de desarrollar en mayor detalle, planificar y corregir la problemática encontrada, los análisis realizados en fichas en la Fase II, se realizan modelos parciales de zonas de la edificación, en los cuales se hace con alto nivel de detalle todos los elementos constitutivos, procedimientos para la construcción y especificaciones de las actividades.

- Estructura: tipos de columnas, refuerzos, condiciones o procedimiento a emplear para la fundida, materiales y equipos; tipo de formaletas, condiciones de apuntalamiento de la misma, ubicación, almacenamiento y transporte de materiales, forma de vaciado, etc.
- Maquinaria y materiales: se realiza la ubicación espacial de la maquinaria y equipo a emplear, para determinar la movilidad y forma de acceso al lugar de utilización de la misma, condiciones de manejo y posibles requerimientos adicionales, así como la generación de diferentes propuestas de uso con el fin de buscar la facilidad constructiva del proyecto enfrentándolo a las condiciones reales.
- Programaciones parciales: al realizar el control mediante la programación general y manejar en la construcción varios frentes de trabajo, para efectos de medición, se debe hacer una valoración en porcentajes de avance de la obra, para determinar la relación de lo ejecutado respecto a la programación general.



En el modelo tridimensional se pueden prever las situaciones o requerimientos de los procesos constructivos de la obra.

En el modelo tridimensional se pueden prever las situaciones o requerimientos de los procesos constructivos de la obra.



Perspectiva con los elementos del MDC parcial de mampostería del proyecto piloto.

Aspectos Técnicos:

Para implementar esta herramienta se requiere del trabajo del grupo interdisciplinario involucrado en la obra, arquitectos diseñadores, ingenieros y demás profesionales que intervienen en la toma de decisiones de la construcción y de un analista o modelador, profesional capacitado en arquitectura y construcción que realizara el modelado tridimensional y hará también una coordinación técnica del proyecto.

Se requiere de un computador, ubicado preferiblemente en la oficina de diseño que también deberá ser usado en el sitio de la obra; por utilizar las herramientas informáticas para diseño y control de obra de uso más extendido, la configuración de éste debe ser lo suficientemente potente para soportar las últimas versiones de los programas mencionados a continuación:

- Autocad
- Excel
- Project
- Windows Media Player u otro reproductor de video

Aplicaciones similares

Se mencionan investigaciones y software que se relacionan y/o aplican de alguna manera los conceptos utilizados en la investigación; estas se han venido realizando principalmente por las empresas fabricantes y desarrolladoras de software y en centros universitarios en los cuales hay profundizaciones o proyectos de investigación relacionados con el tema⁵:

En la Universidad de los Andes se han desarrollado varios trabajos de grado dentro de la Maestría en Ingeniería Civil de Gerencia en la Construcción, encaminados a optimizar los procesos constructivos mediante aplicaciones informáticas y el uso de software, se mencionan algunas:

- Planeación de proyectos bajo incertidumbre utilizando simulaciones de Monte Carlo. Ing. Civil Fabio Andrés Arciniegas. 1999
- Estudios de productividad basados en tecnologías de diagnóstico y simulación digital. Ing. Civil Luis Fernando Ballesteros. 1999
- Modelo computacional de simulación de procesos constructivos. Ing. Civil Juan Camilo Granados Riveros. 2001
- Simulación digital de procesos constructivos. Ing. Liliana Navarro. 2001
- Simulación digital de procesos constructivos. Ings Civiles Jorge Eduardo Córdoba Sarriá y María Jenny Delgado Hurtado. 2002
- Optimización de procesos constructivos fundamentada en la recolección de datos y simulación digital. Ing. Civil Luis Guillermo Jaramillo. Universidad de Stanford. CIFE.

⁵ <http://micigc.uniandes.edu.co>

CONSTRUCTION METHOD MODELER – 4D, Centro para Facilidades Integradas de Ingeniería (CIFE) y la organización Walt Disney, Imagineering Research and Development.

En este grupo de investigación se desarrollan ejemplos de Ambientes 4D, mediante la visualización de diversos aspectos de la construcción desde el proyecto diseñado en 3D, relacionándolo con el cronograma de actividades del diseño.

Ha utilizado para su ejecución la herramienta 4D CAD y 4D CAD VIZ, desarrolladas por CIFE y Walt Disney el sistema para análisis y diseño RIUSKA, y software para análisis mecánico de fluidos CFD, desarrollado por Olor Granlund; todo este software basado en estándares de la construcción internacionales IFC.⁶

Su proyecto piloto fue la Sala de Conciertos Walt Disney, diseñada por Frank Gehry y asociada como sede de la Orquesta Filarmónica de Los Ángeles, y en el se asociaron elementos de tiempo a cada uno de los componentes de los planos para poder visualizar la obra en cada momento de su ejecución, gracias a lo cual se detectaron a tiempo interferencias de unas actividades con otras, se mejoraron parcialmente elementos de formaletería, se analizaron las circulaciones verticales y horizontales, se discutieron con cada subcontratista los diferentes aspectos de su trabajo y, en fin se representó volumétricamente la secuencia de ejecución de los trabajos como un valor agregado a los procesos de planeación de la obra.⁷

Software desarrollado por empresas particulares

-Dynamic Construction Visualizer (DCV)

Este programa se implementa para permitir la visualización de procesos en general, con aplicación a los procesos constructivos. Parte de la utilización de herramientas de Simulación de eventos discretos, (Se refiere a la construcción de un modelo abstracto que representa algún sistema de la vida real; describe los aspectos pertinentes del sistema como una serie de ecuaciones, relaciones, y/o sentencias lógicas embebidas en un programa de computación y permite la exploración de escenarios posibles), para la generación de diferentes posibilidades de abordar la construcción y su visualización para el usuario.

CONCLUSIONES

- Los sistemas y herramientas digitales disponibles en la actualidad poseen un amplio potencial que permite lograr aplicaciones en proyectos de construcción optimizando los resultados de estos.
- A partir del modelo tridimensional, se generan los requerimientos para los diferentes procesos constructivos, permitiendo la identificación clara de posibles problemáticas y la previsión de circunstancias de trabajo que serán enfrentadas en obra.
- El desarrollo del MDC en cualquier proyecto arquitectónico determina unas exigencias en definición de detalles y especificaciones mayores a los manejados normalmente, constituyéndose en una herramienta de control de calidad y de procesos de mucha utilidad durante todas las fases de elaboración del proyecto.

⁶ Extractado de conferencia Information technology in construction- What is ahead? FISHER. Martin. Enero 2005.

⁷ Consuegra, Juan Guillermo. Presupuestos de construcción. Pág. 32. Editorial Bhandar. Bogotá, 2002

- Las inquietudes e interrogantes que se plantean mediante el uso del MDC, en el cual se plantean vínculos y herramientas de conectividad de los sistemas gráficos CAD, con software de presupuestación, manejo de tablas y bases de datos y renderizadores, crean la expectativa para el desarrollo de estas aplicaciones en futuras investigaciones.
- El software y las HD utilizadas en procesos industriales tiene un gran potencial de aporte a las herramientas utilizadas en arquitectura y construcción, abriendo un campo por explorar en el desarrollo de aplicaciones y nueva tecnología para los procesos constructivos.

BIBLIOGRAFÍA.

- CONSUEGRA, Juan Guillermo. Presupuestos de construcción. Bhandar Editores. Bogotá, 2002
- DIAS, Jose Miguel S. A4D Augmented reality 4D system for architecture and building construction. Conferencia Virginia tech. Septiembre 24-26 2003.
- FISCHER, Martin; KUNZ, John. The scope and role of information technology in construction. Stanford University. CIFE Technical report # 156. Febrero 2004.
- GRANADOS R., Juan Camilo. Modelo computacional de simulación de procesos constructivos. Tesis. U. de los Andes 2001
- MARTINEZ, Julio C.; IOANNOU, Photios. Simulation of complex construction processes. Conferencia sobre Simulación Universidad de Michigan. EU. Verano 1996
- MARTINEZ, Julio C.; KAMAT, Vinet R. 3D visualization of simulated construction operations. Conferencia sobre Simulación Universidad de Michigan. EU. Invierno 2000.
- MARTINEZ, Julio C. STROBOSCOPE. Tesis doctoral. Universidad de Michigan E.U. 1996.
- MOURGUES, Claudio; FISCHER, Martin. Investigaciones en tecnologías de información aplicadas a la industria A/E/C (Arquitectura, Ingeniería y Construcción). Stanford University. CIFE Technical report # 124. Enero 2001.
- PATIÑO, Gonzalo. Planeamiento de un presupuesto de construcción. Bogotá. 2003.
- PÉREZ, M. Juan Bautista y Moreno, Antonio Salvador. Calidad del diseño en la construcción. Edit. Díaz de Santos.
- PRIETO, Mario Roberto. Hardware y Software para diseño. Tesis. U. Nacional. 2003.
- SANDERS, Ken. El arquitecto digital. España. 2002
- STEELE, James. Arquitectura y revolución digital. G.G.
- TORO, Néstor Grisales. Espacio Digital. Tesis. U. Nacional. 2003.
- VALDERRAMA Fernando. Tutoriales de informática para arquitectos.