

SISTEMA COMPUTARIZADO DE PLANEACIÓN DE OBRAS BASADO EN MODELOS DE MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN

Jorge E. Harris Oroz, Martín A. Fischer Y Florian Aalami

Este artículo tiene como objetivo transmitir al lector una idea global de los estudios y esfuerzos enfocados a la integración de los sistemas de costos con la planeación y programación de obra que se están llevando a cabo actualmente en el Departamento de Ingeniería y Administración de la Construcción de la Universidad de Stanford. Primero presenta la necesidad de la integración de estos elementos en el proceso de construcción y posteriormente describe un sistema que está siendo desarrollado en CIFE (Center for Integrated Facilities Engineering) en Stanford como una alternativa para hacer posible esta integración y que consiste en la captura de información de métodos de construcción, de tal manera que pueden ser interpretados y procesados por una computadora.

INTRODUCCION

La planeación y programación de obra junto con la estimación de costos son actividades fundamentales para el proceso de construcción. Estas actividades son las que unen al diseño arquitectónico y estructural de algún proyecto con su proceso de construcción. Toma muchos años para que una persona llegue a ser un programador y analista de costo experimentado, y aún para los estimadores profesionales experimentados es un reto desarrollar programas de obras y estimaciones de costos que sean realísticos y prácticos.

Es común ver que cuando se hacen esfuerzos serios por realizar programas de obras y de control de costos que sean realmente útiles, estos fracasan al toparse con problemas originados por los inevitables cambios que siempre se presentan en toda obra y que pueden ser cambios en el diseño estructural, en la condiciones de trabajo, en los recursos disponibles, en el clima o incluso cambios en la economía del país. Estos fracasos se pueden atribuir generalmente a la rigidez de estos programas que no les permite adaptarse a nuevas circunstancias, y a la dificultades y tardanza que implica la elaboración de nuevos programas de obra y control de costos.

Junto con este problema existen otros como lo es la falta de relación entre el programa de obra y la estimación de costos (Oberlender 1993). La estimación de costo, base del presupuesto, debe reflejar el costo de los recursos necesarios para llevar a cabo un determinado programa de obra; es obvio pensar que una variación en el programa de obra afectará en la mayoría de las veces el costo del proyecto.

Actualmente esta conexión o liga entre el programa de obra y la estimación de costos es generalmente implícita,

y aunque los programadores y estimadores consideren en su mente los métodos de construcción y recursos para hacer el programa de obra y las estimaciones de costos, estos programas no representan esta información explícitamente.

Desde 1992 los estudiantes de Magister en Ingeniería y Administración de la Construcción de la Universidad de Stanford han estudiado esta situación en casos de estudio de planeación de proyectos y sistemas de control en 50 diferentes proyectos de construcción en el área de la bahía de San Francisco, y no se ha encontrado ningún caso en el cual el contratista haya representado explícitamente los métodos de construcción y los recursos necesarios para llevarlos a cabo en el programa de obra y en la estimación de costos de tal manera que se pueda establecer una conexión o liga entre ambos. Por ejemplo, para hacer una corrección al programa de obra elaborado por otra persona, el programador debe tener conocimiento acerca de las consideraciones originales correspondientes a los métodos de construcción, tamaño de cuadrillas, rendimientos, etc.

Esto se complica aún más cuando se requiere saber como un cambio en el programa de obra afectará los costos del proyecto.

Otro problema encontrado, es la falta de integración entre los niveles de detalle e información entre los programas de obra y estimaciones de costo de los diferentes participantes de un determinado proyecto de construcción. Los programas de obra y las estimaciones de costos deben estar representados al nivel adecuado de detalle para ser útil al tomador de decisiones. Esto significa que debe haber un nivel de detalle para cada uno de los participantes del proyecto. Por ejemplo, un subcontratista puede necesitar información acerca de como distribuir sus cuadrillas diariamente, mientras el contratista general puede estar preocupado simplemente de la fecha de terminación de elementos mayores del proyecto. Una vez más, de los 50 casos estudiados, no se ha encontrado algún proyecto que integre los diferentes niveles de detalle a los cuales los participantes del proyecto hayan creado sus programas de obra y estimaciones de costos. Esto trae como consecuencia que cada participante elabore sus propios programas de la nada, lo que a su vez resulta en una duplicación de esfuerzos y en versiones inconsistentes de programas a nivel de subcontratista, contratista general y dueño. Aunque alguna información de programas es compartida entre los participantes del proyecto es difícil su utilización ya que, como se comentaba anteriormente, todas las consideraciones tomadas detrás de esta información usualmente no son explícitas.

Además de los problemas mencionados

anteriormente, no hay que olvidar que la generación y actualización de programas de obra son actualmente procesos que consumen mucho tiempo, sobretodo cuando se trata de grandes proyectos, los cuales suelen llegar a tener más de 1000 actividades. Esto provoca que los programas de obra no se elaboren adecuadamente y que las actualizaciones de los mismos no se lleven a cabo con la frecuencia necesaria.

Este artículo presenta la utilización de modelos computarizables de métodos de construcción como una respuesta a los problemas mencionados anteriormente y como una alternativa para mejorar la constructabilidad del proyecto, es decir, para poder seleccionar durante la etapa de conceptualización y diseño del proyecto, de manera rápida y efectiva, el diseño y plan de construcción que sean más adecuados. Cabe mencionar que estos modelos no están aún totalmente terminados y están siendo desarrollados actualmente en la Universidad de Stanford. Creemos que la utilización en el mercado de estos modelos traería como consecuencia una disminución considerable en el tiempo y costo de la obra, haciendo así más eficiente la industria de la construcción.

UTILIZACIÓN DE MODELOS DE MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN EN LA PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN DE OBRA

Fischer y Aalami (1996) están proponiendo un ambiente basado en conocimientos que integre el método de construcción y la información de recursos disponibles con los planos de construcción, los programas de obra, las estimaciones de costos, y con los modelos gráficos del producto (realizados en CAD 3D), todo esto a diferentes niveles de detalle, con el fin de hacer posible desarrollar programas de obra y estimaciones de costos que sean realísticos y prácticos. De esta manera, cualquier cambio en uno de estos elementos se verá reflejado en los otros, ya que estarán ligados unos con otros. Por ejemplo, se podrá contemplar como un cambio en el diseño se verá reflejado en el programa de obra y en el costo del proyecto. Toda esta información será explícita, lo que facilitará llevar un control de tiempo y costo del proyecto.

Dicho ambiente de conocimientos también les permitirá a los planeadores y diseñadores de alguna construcción evaluar el efecto de decisiones de diseño y planeación en la duración y costo del proyecto, proveyendo así bases para mejorar la constructabilidad del diseño. Actualmente estas decisiones de diseño y método de construcción se toman basadas en la experiencia personal y de manera abstracta, sin embargo estas decisiones no siempre son las más adecuadas, ya que las circunstancias cambian de proyecto a proyecto y además nadie nos asegura que la experiencia positiva que haya tenido alguien en un proyecto similar haya sido la mejor opción.

El proceso actual de planeación y programación, mostrado en la Figura 1, tiene tres etapas distinguibles. Dada una descripción del proyecto, planos en dos dimensiones en

la mayoría de los casos, el programador de obra debe interpretar la información y determinar el alcance del proyecto. Después de determinar QUE construir, el programador tiene que ver COMO construirlo, es decir, debe seleccionar el método de construcción más apropiado y generar las actividades correspondientes en sus respectivas secuencias. Finalmente, el programador determina CUANDO se efectuarán estas actividades. Existe actualmente software, como Primavera P3 y MS Project, que soporta la representación y manipulación de actividades y sus relaciones de dependencia, pero sin embargo no representa las razones detrás de éstas; es decir, nos indica que actividades tienen que realizarse para que empiece otra actividad pero no nos explica por qué razón.

Los modelos de construcción pueden ayudar a producir un programa de obra ligado con la descripción del proyecto, mediante la captura de información acerca del método de construcción en un formato que es interpretable para la computadora. La entrada al proceso de programación de obra es mediante un modelo gráfico del diseño hecho en CAD-3D. El modelo de CAD es interpretado y conectado a un modelo del producto a construir (Björk 1994). Sistemas como SME (Clayton y otros 1994) y Design++ (Howard 1995) hacen posible hacer esta conexión. Los componentes en el modelo del producto son ligados con los modelos de métodos de construcción mediante actividades. Estos modelos de métodos de construcción generan y secuencian las actividades y recursos necesarios para llevar a cabo la construcción del diseño representado por el modelo gráfico del producto. Una vez que las actividades y sus relaciones de secuencia han sido hechas explícitas en el modelo de proceso, ellas pueden ser visualizadas como una red de actividades, y pueden ser mostradas como un modelo gráfico del producto en 4 dimensiones (4D, Collier and Fischer 1995). Esto es, que no solamente se obtendrá un diagrama o red de actividades a partir del diseño gráfico del producto, sino que se podrá ver gráficamente, en unos cuantos minutos, cómo variará con el tiempo la construcción del mismo, ya que cada actividad está ligada con un objeto del modelo gráfico del producto, incluyendo a las estructuras y zonas temporales o de soporte.

A continuación se describirá el modelo de método de construcción interpretable para computadora en el cual se está trabajando actualmente. Este modelo captura el conocimiento específico del método de construcción acerca de la generación de actividades, su secuencia, y sus requerimientos de recursos. Además este modelo guía la evolución del modelo gráfico del producto mediante la introducción de objetos que son específicos para cada método de construcción, como lo son las zonas o estructuras temporales. Ya que es imposible capturar el conocimiento acerca de todos los métodos de construcción existentes, Fischer y Aalami (1996) están proponiendo este modelo como un formato o plantilla en la cual se puedan representar los conocimientos de cualquier método de construcción.

El trabajo presentado aquí extiende los trabajos realizados anteriormente en la formalización y automatización de la programación de obra por Cherneff y otros (1991),

Darwiche y otros (1989), Echeverry y Otros (1991), Gray (1986), Hendrikson y otros (1987), Jin y otros (1992), Navinchandra y otros (1988), Waugh (1990), Jägbeck (1994), y Shaked y Warszawski (1995).

Cada plantilla o modelo de método de construcción debe contener información acerca de a qué actividades es aplicable (dominio), cómo elaborar la actividad de dominio en actividades inferiores o actividades constituyentes, cómo secuenciar las actividades constituyentes, sobre qué componentes u objetos actúan las actividades constituyentes, y qué requerimientos de recursos tiene cada una de las actividades constituyentes. La Figura 2 muestra una pequeña jerarquía de un modelo de método de construcción para la construcción de muros del cuarto médico de un hospital. Como se puede ver en esta figura, la información mencionada anteriormente está representada en el formato del método como Dominio, Actividades Constituyentes, Secuencia de Actividades, Objetos Constituyentes y requerimientos de Recursos.

La Figura 3 muestra como los métodos de construcción afectan la generación y elaboración de un programa de obra. El modelo del método de construcción interpretable para la computadora refina actividades más detalladas o de más bajo nivel. El modelo del método de construcción define las actividades y componentes de nivel inferior sobre los cuales la actividad actúa, conteniendo el conocimiento necesario acerca de los recursos y de la secuencia de las actividades inferiores necesarios para llevar a cabo la actividad. Después de que el usuario crea una actividad, el sistema busca un método de construcción que sea aplicable a esa actividad. Por ejemplo, si el usuario crea la actividad "construir casa", el sistema buscará los métodos que tenga disponibles para construir casas. Posteriormente el usuario tiene que escoger entre los diferentes métodos propuestos. Una vez escogido este, el sistema busca de la misma forma los distintos métodos de construcción que tiene para desarrollar cada una de las actividades que forman el método seleccionado anteriormente. Este proceso de refinamiento de actividad y componente puede ser repetido tantas veces como hayan métodos definidos para actividades más detalladas. Cabe recordar que para cada una de las actividades existen elementos que están ligados a ellas, como lo son los elementos del modelo gráfico, recursos necesarios, etc.

En esta propuesta los métodos de construcción coinciden con los diferentes niveles de los modelos del proceso y del producto. Esta interacción entre estos modelos nos lleva a la evolución de un modelo gráfico del producto y a la generación de un programa de obra realístico. Ahora, una estimación de costos basada en actividades puede ser realizada fácilmente, permitiendo así una mejor evaluación y control de los principales costos.

IMPLEMENTACIÓN DE LOS MODELOS DE MÉTODOS DE CONSTRUCCIÓN INTERPRETABLES PARA COMPUTADORA

Aunque el sistema está todavía en proceso de

desarrollo, ya se ha logrado implementar exitosamente bajo ciertas circunstancias. A continuación se muestra con ayuda de las Figuras 4, 5 y 6 como es utilizado en la sencilla elaboración de un marco.

Primero se alimenta el sistema con el modelo gráfico del producto. La Figura 4 muestra el modelo gráfico del marco (CMM - Planner Simulation Windows) junto con una elaboración simbólica (Object Browser) del mismo que realiza el sistema. Una vez que el sistema tiene el modelo gráfico, el usuario debe sembrar la primera actividad en la ventana mostrada en la Figura 5 (Activity Elaboration Windows) en el campo número 1 (1. Select Activity to be elaborated) y refinarla a otras actividades más específicas mediante la selección de un método de construcción en el campo número 2 (2. Select one of the applicable construction methods) de la misma ventana, y que puede ser creado y definido en la ventana mostrada en la Figura 6 (Construction Method Definition Window). De tal manera que al seleccionar una de las actividades del campo número 1 de la ventana de la Figura 5, seleccionar después un método de construcción en el campo número 2 y posteriormente presionar el campo número 3 (3. Select option - Elaborate), la actividad se convertirá en otras actividades más detalladas. La Figura 7 muestra la representación simbólica y jerárquica que forma el sistema de como se va desarrollando el modelo del proceso, es decir, de como se van refinando las actividades mediante la utilización de métodos de construcción.

En este particular ejemplo del marco, se introdujo el modelo gráfico del mismo al sistema, (Figura 4), posteriormente se sembró la actividad construir marco (Build Frame) en el campo número 1 de la Figura 5, después se seleccionó un método que refinó la actividad de construir marco a las actividades construir cimentación (Build Foundation), construir viga (Build Beam), construir columna 1 (Build column 1) y construir columna 2 (Build column 2), tal como se muestra en las Figuras 5 y 7. Si se quisiera refinar la actividad construir viga, ésta se seleccionaría en el campo número 1 de la ventana de la Figura 5, se seleccionaría un método de construcción en el campo número 2, y finalmente se seleccionaría la opción de elaborar (elaborate) en el campo número 3. En este caso se seleccionó un método que refina la actividad de construir viga al refinar únicamente el verbo o acción de la actividad "construir" a transportar viga (deliver viga), colocar viga (place beam), y asegurar viga (fasten beam), sin tener que cambiar el objeto en cuestión (viga). Esto se muestra en la Figura 7. También se puede refinar la actividad cambiando no sólo la acción, sino también el objeto, tal y como se muestra en otra rama de la Figura 7 cuando se refina la actividad construir columna 1 (build column 1) a cimbrar columna 1 (erect formwork column 1), colocar acero de refuerzo (place rebar column 1), colocar concreto (pour concrete column 1), y quitar cimbra (strip formwork column 1). De esta misma forma se pueden ir refinando las actividades el número de veces que sea necesario bajo los criterios de los diferentes métodos de construcción que sean seleccionado y/o elaborados en la ventana mostrada en la Figura 6, ya sea refinando únicamente la acción o el objeto, o cambiando

ambos.

Las actividades también saben como secuenciarse ellas mismas (ver secuencia de actividades, Figura 2), por lo tanto, una vez que una lista de actividades ha sido creada mediante la elaboración o refinamiento de actividades mencionada anteriormente, el sistema crea un plan de construcción basado en el conocimiento de la secuencia.

Como se mencionó anteriormente, el modelo propuesto está aún bajo desarrollo actualmente en la Universidad de Stanford, y aunque ya se ha logrado utilizar exitosamente, aún se está trabajando para superar ciertas limitaciones. Dentro de estas limitaciones resaltan las tres siguientes:

- 1) La necesidad de interacción del operador del modelo en cada una de las iteraciones para seleccionar cual de los métodos propuestos por el sistema para cada actividad sembrada.
- 2) La necesidad de definir secuencias y necesidades de recursos de actividades inferiores en un nivel donde todavía no están definidas estas actividades
- 3) La limitación para establecer diferentes tipos de relaciones entre actividades.

CONCLUSIONES

La selección del método de construcción es un paso muy importante en el proceso de planeación y programación de obra. El método de construcción afecta la generación de actividades, su secuencia, y la distribución de los recursos; así como el refinamiento del modelo gráfico del producto mediante la utilización de elementos que son parte solo del proceso de construcción y no de la estructura permanente.

Al ir utilizando modelos interpretables para computadora de métodos de construcción, las compañías constructoras irán formando a la vez una biblioteca de modelos de métodos de construcción re-usables. Esto significa que la información y experiencia acerca de métodos de construcción podrá ser transmitida de una persona a otra dentro de la misma organización, y que los programadores le dedicarán menos tiempo a la creación de programas de obras y podrán dedicar más tiempo a analizar los mismos.

Los modelos interpretables para computadoras de métodos de construcción soportan transiciones dinámicas entre los diferentes niveles de abstracción del producto y del proceso. Esto permite la generación de programas en etapas tempranas del proyecto cuando solo existe un modelo esquemático del producto, y en etapas posteriores cuando descripciones más detalladas del proyecto están disponibles. Por lo tanto, métodos y programas de obra desarrollados en etapas tempranas pueden ser re-usados y servir como base para programas posteriores. Esto hace posible elaborar un programa de obra flexible que se pueda adaptar a cambios del proyecto.

Los modelos de métodos de construcción interpretables para computadora proveen una conexión entre los programas de obra y las estimaciones de costos. Ellos soportan el desarrollo rápido y concurrente de estimaciones

y programas, permitiendo a los usuarios explorar múltiples circunstancias de diseño y construcción en más detalle de lo que es posible actualmente.

La utilización de esta nueva herramienta sería de gran ayuda especialmente en nuestros países de Latinoamérica, donde la inestabilidad del mercado y de la economía requieren de programas de obra y estimaciones de costos que sean lo suficientemente flexibles y manejables, de tal manera que permitan tener un mejor control en el proceso de construcción, e incrementar la eficiencia de construcción. Esta mayor eficiencia, junto con la posibilidad de tener un mayor control y el incremento en la capacidad de mejorar la constructibilidad de los proyectos, haría posible reducir los costos de construcción, y por lo tanto hacer rentables proyectos que actualmente solo se quedan en la etapa de conceptualización debido a la falta de recursos.

Lo descrito aquí anteriormente puede parecer muy ambicioso, pero hay que considerar que en la actualidad no existe ningún mecanismo que una a la información del diseño automática y dinámicamente con la información de planeación del proceso constructivo de tal manera que esta información pueda ser utilizada más efectivamente. Los modelos interpretables para computadora de métodos de construcción son el núcleo de conocimientos requeridos para traducir el diseño al proceso de construcción. En la ausencia de dichos modelos, la transacción de esta información tendrá que seguir siendo hecha a mano, una perspectiva no muy prometedora en una industria de la construcción rodeada por otro tipo de industrias menos relegadas que se benefician día a día más de los increíbles avances alcanzados en la tecnología del manejo de la información.

REFERENCIAS

- Björk, B.C. (1994). "The RATAS Project - an example of cooperation between industry and research towards computer integrated construction". *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 8(4), 401-419
- Cherneff, J., Logcher, R., and Sriram, D. (1991). "Integrating CAD with Construction-Schedule Generation". *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 5(1), 64-84
- Clayton, M.J., Fruchter, R., Krawinkler, H., and Teicholz, P., (1994). "Interpretation Objects for Multi - Disciplinary Design" *Proceedings Artificial Intelligence in Design '94*, Gero, J.S. and Sudweeks, F.(Eds), Kluwer Academic Publishers, the Netherlands, 573- 590
- Collier, E. And Fischer, M.S. (1995). "Four - Dimensional Modeling in Design and Construction". *Technical Report 101*, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford, CA.
- Darviche, A., Levitt, R., and Hayes - Roth, B. (1989).

- “OARPLAN : Generating Project Plans by Reasoning about Objects, Action and resources”. *AI EDAM*, 2 (3), 169-181
- Echeverry, D., Ibbs, W., and Kim, S. (1991). “Sequencing Knowledge for Construction Scheduling”. *Journal of Computing in Civil Engineering and Management*, ASCE, 117 (1), 118-130.
- Fischer M.A., and Aalami, F. (1996). “Scheduling with Computer - Interpretable Construction Method Models”. *Journal of Computing in Civil Engineering and Management* ASCE, 122 (4).
- Gray, C., (1986). “Intelligent construction time and cost analysis”, *Construction Management and Economics*, 4(2), 135-150
- Hendrickson, C., Zozaya - Gorostiza, C., rhak, D., Baracco - Mille, E., and Lim, P. (1987). “Expert System for Construction Planning”. *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 1 (14), 253-269.
- Howard, H.C., “Modeling Process and Form for Process Plant Pipe Routing”. *Modelling of Buildings Through Their Life-Cycle*, Fischer, Law an Luiten, 523-534.
- Jägbeck, A. (1994). “MDA Planer: Interactive Planning Tool Using Product Models and Construction Methods”, *Journal of Computing in Civil Engineering*, ASCE, 8 (4), 536-554.
- Jin, Y., Kunz, J., Levitt, R.E., and Winstanley, G. (1992). “Design of Project Plans from Fundamental Knowledge of Engineering System”. *Proceedings AAAI Fall Symposium- Design from Physical Principles*, Cambridge, MA, 149-154
- Navinchandra, D., Sriram ,D. , and Logeher, R.D., (1988). “GHOST: Project Network Generator”. *Journal of Computing in Civil Engineering* ASCE, 2 (3), 239-254.
- Oberlender, G.D. (1993). *Project Management for Engineering and Construction* NY.
- Shaked, O. and Warszawski, A. (1995). “Knowledge - Based System for Construction Planning of High - Rise Buildings.” *Journal of Computing in Civil Engineering and Management*, ASCE, 121 (2), 172-182
- Waugh, L.M. (1990). “A Construction Planner” *Technical Report 32*, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford, CA.

Jorge E. Harris Oroz olds a MS degree in Construction Engineering and Management from Stanford University and now works for INCEMEX in Mexico.

Martin A. Fischer is Assistant Professor in Construction Engineering and Management at Stanford University. His teaching and research interests include the application of computer modeling and visualization to construction planning and constructibility analysis.

Florian Aalami is a PhD student in Construction Engineering and Management at Stanford University. His research focuses on hierarchical construction planning based on construction method models.

Proceso Actual de Planeación y Programación de Obra



Fig. 1 Proceso actual de planeación y programación de obras

Definición del Método de Construcción:

- (Nombre (**Dominio:** actividades)
- (**Actividades Constituyentes:** actividades)
- (**Secuencia de Actividades:** restringido por componente o actividad)
- (**Objetos Constituyentes:** objetos)
- (**Requerimientos de Recursos:** mano de obra, materiales, maquinaria)

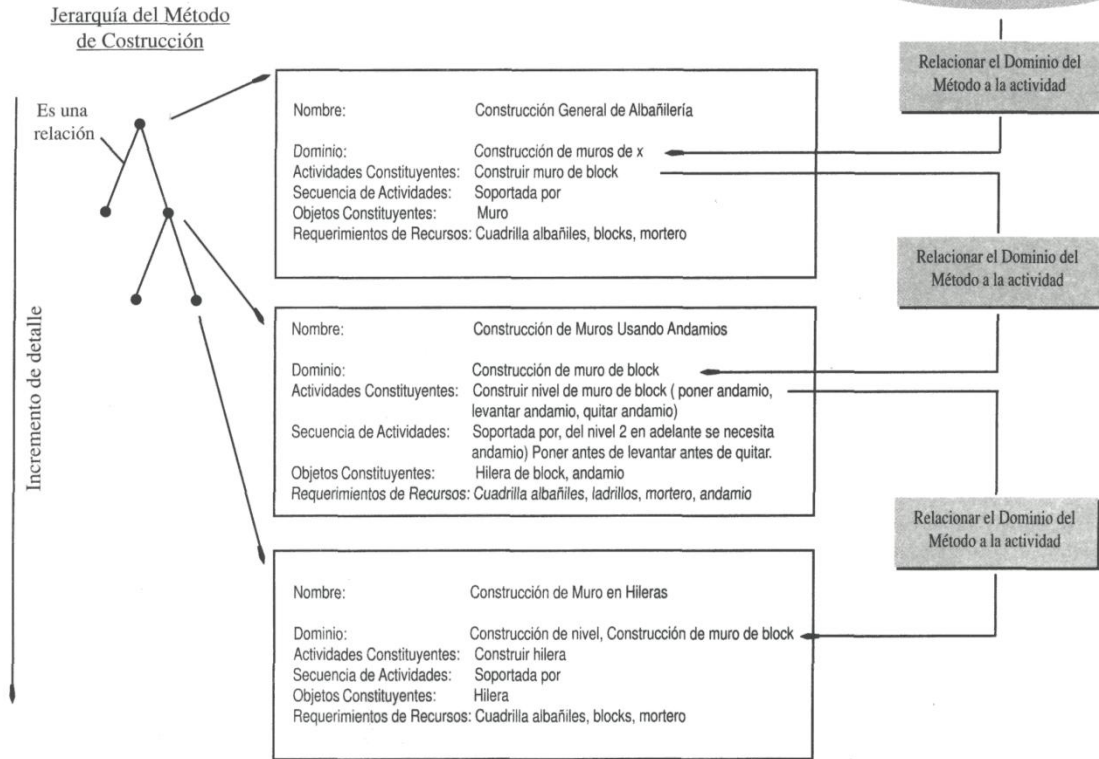


Fig. 2 Jerarquía de un modelo de método de construcción

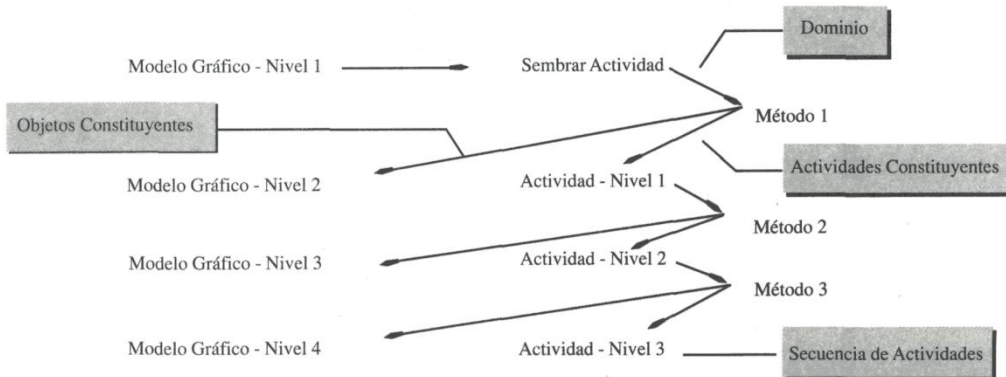


Fig. 3 Impacto de los métodos de construcción, sobre la generación y elaboración de un programa de obra

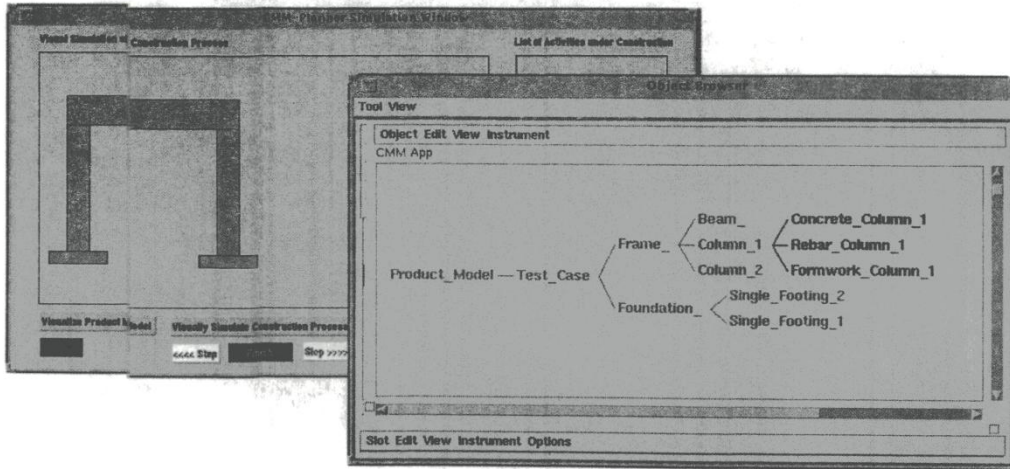


Fig. 4 Modelo gráfico de un marco

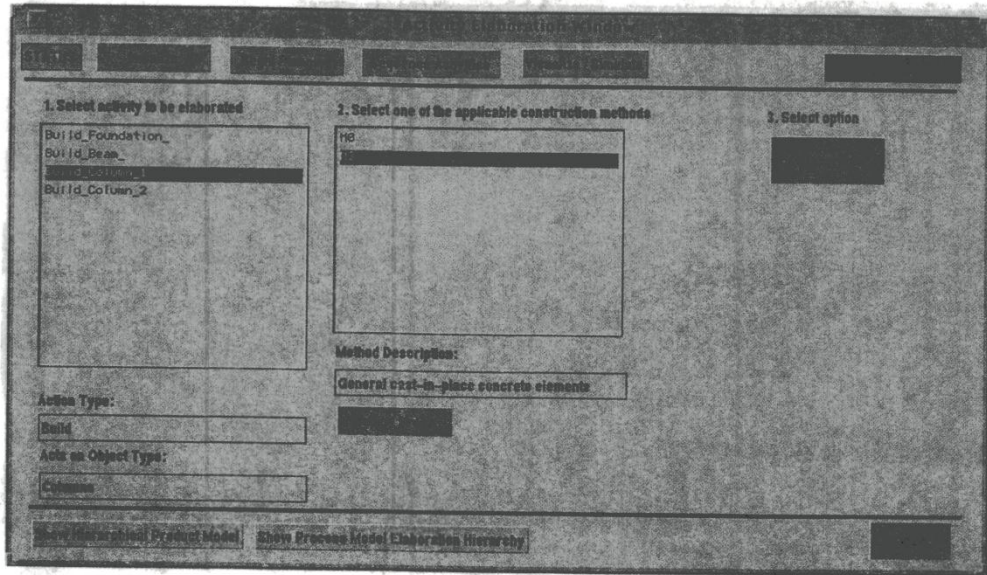


Fig. 5 Ventana de elaboración de la actividad

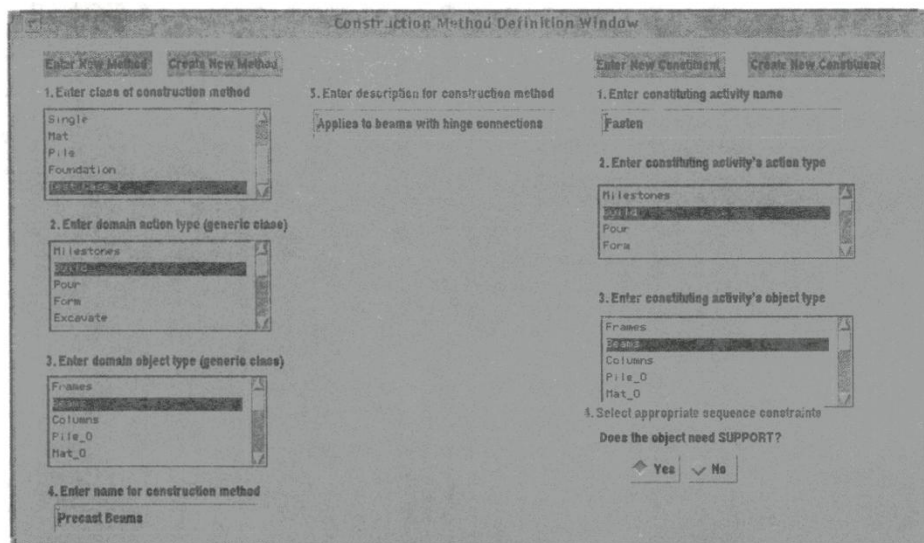


Fig. 6 Ventana de definición del método de construcción

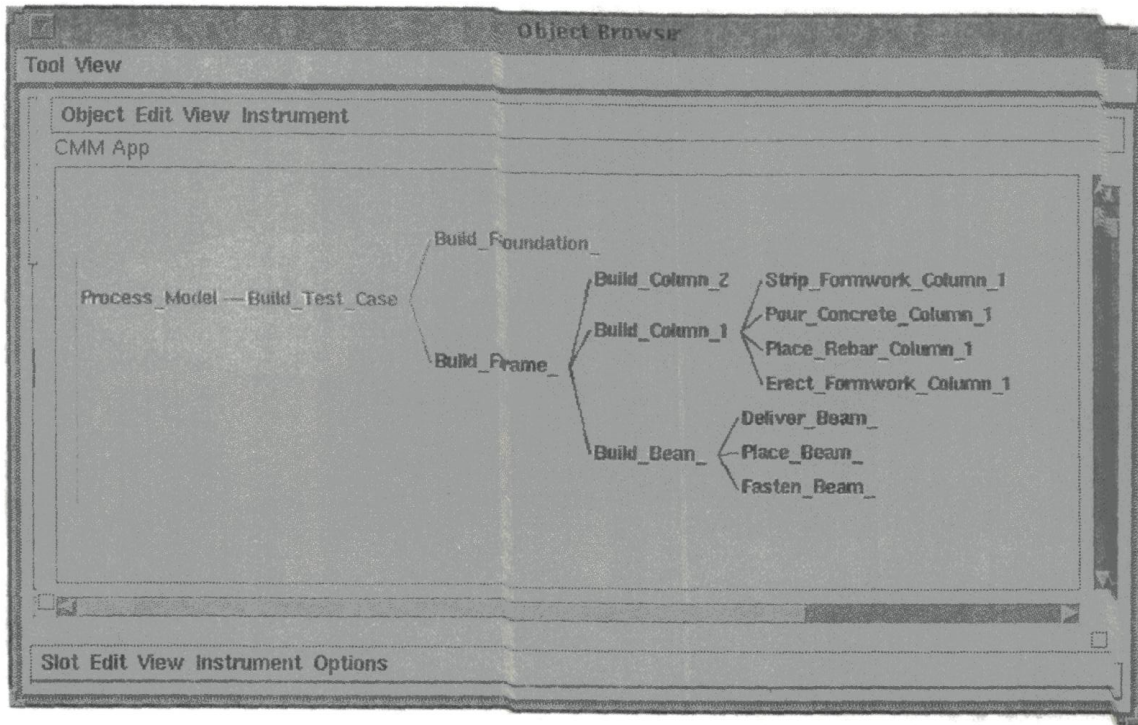


Fig. 7 Refinamiento de la actividad

