

## La ingeniería de diseño y la ingeniería de construcción

**Mario Campero Q.**

Jefe Inspección en Europa. ENDESA, Santa Rosa 76 piso 17. Santiago, Chile.

**RESUMEN:** se presentan conceptos e ideas relativas a la relación y participación de la ingeniería de diseño y de construcción en un proyecto. Se enfatiza que el proyecto es una unidad que se debe beneficiar del aporte integrado y simultáneo de estas dos especialidades, el cual debe prolongarse durante todo el desarrollo del proyecto hasta el término de su materialización. Finalmente se destaca que el elemento fundamental para lograr esta integración es la presencia de un jefe de proyecto de alta capacidad.

### I. INTRODUCCIÓN

El tema de este trabajo es: "La ingeniería de diseño y la ingeniería de construcción". Dos áreas de la ingeniería civil que se han diferenciado como consecuencia natural de la especialización que exige el abismante desarrollo de la tecnología. Un aspecto anecdótico de esta división es que los profesionales que se dedican a ellas adquieren perfiles que en sus extremos llegan a ser antagónicos. A veces el ingeniero de construcción piensa que algunos diseñadores resultan excesivamente teóricos; a su vez, el ingeniero de diseño opina que ciertos ingenieros constructores olvidaron el cálculo hace mucho tiempo. Este recelo entre ambas profesiones no es nuevo ni circunscrito a nuestro país; los contactos con ingenieros de otros lugares y la literatura especializada lo muestra como algo universal.

Sin embargo, el proyecto es una unidad que se beneficia de la buena coordinación e integración de todas las actividades que son necesarias para su buen término: investigación de terreno, diseño, ejecución, organización, gestión financiera, elección del personal, etc. En consecuencia, diseño y construcción deben estar tan coordinadas e integradas como sea posible si queremos tener un proyecto económico y en pronta producción.

El título de este trabajo ha puesto en un sospechoso orden la ingeniería de diseño y la ingeniería de construcción. Supongo que muy pocos dudan de las ventajas de que el diseño preceda a la construcción. En cambio, no existe la misma conciencia en cuanto a que la ingeniería de construcción debe ser, en gran medida, contemporánea con el diseño.

### II. LA INGENIERÍA DE CONSTRUCCIÓN Y LA INGENIERÍA DE DISEÑO

La ingeniería de construcción, se entiende como una actividad que colabora a la definición de la obra en su etapa preliminar, que analiza la constructibilidad de las ideas del ingeniero de diseño y que calcula costos y plazos, para lo cual debe determinar métodos e identificar recursos y que, posteriormente, interviene de lleno en la etapa de ejecución de la obra. Le compete, en ese momento, hacerse cargo de todas las actividades de la construcción, las que se pueden agrupar según el criterio general de Henry Fayol:

- prever o planificar métodos de construcción
- organizar recursos, tanto en cantidad como en oportunidad
- dirigir, es decir, hacer que el personal realice lo que se ha previsto y organizado
- coordinar, es decir, armonizar todos los esfuerzos
- controlar, es decir, estar atento a las posibles desviaciones

Se observará que se ha llamado ingeniería de construcción a un proceso que se inicia, junto con el diseño y termina cuando se pone término a la obra. Mirada en esta forma, la ingeniería de construcción cubre con mayor o menor intensidad el ciclo completo de la ejecución de un proyecto. En su primera parte muestra una cara muy técnica (evaluación de la factibilidad, cálculo de costos, planificación y organización de recursos) para que, finalmente, predomine un carácter administrativo.

Volvamos, ahora, a nuestra dicotomía: ¿Desde cuándo existen separadas las ingenierías de diseño y de construcción? Recordemos que hasta la época de la revolución industrial - a fines del siglo 18- la ingeniería era un solo cuerpo. Fueron los cambios de este período los que dieron vida a las primeras especialidades (ingeniería mecánica, química, eléctrica). Con mayor razón la ingeniería clásica o civil no hacía una clara diferencia entre diseño y construcción. Al contrario, lo cierto parece ser que ambas formaban una unidad en la mente creativa del realizador, llámese constructor, arquitecto o ingeniero. Ejemplo de lo que decimos hay muchos: Brunelleschi, que diseñó y construyó el Duomo en Florencia; sir Christopher Wren, quien hizo lo mismo con la Catedral de Saint Paul.

¿A dónde se quiere llegar? A una conclusión simple: actualmente, en una buena obra no entran dos elementos solamente: diseño y construcción; en realidad los elementos son tres: diseño, construcción y un conductor o jefe de proyecto. Este último es quien armoniza las especialidades, se esmera en elegir la alternativa de menor costo o de máximo beneficio y trabaja para ejecutarla lo mejor y más rápido que se pueda. En resumen, deberá recuperar el carácter unitario que tenían los proyectos de la antigüedad.

Se dijo que la ingeniería de diseño y la de construcción, de alguna manera se hermanan a lo largo de la vida de un proyecto. Es verdad que en algunas etapas de éste, primará una especialidad sobre la otra, pero en un buen proyecto, nunca se encontrará la aplicación sucesiva de ellas.

Analicemos más este punto aprovechando la Figura 1 que se presenta en la última edición del libro, ya clásico, de los ingenieros Barrie y Paulson: Professional Construction Management (1). El esquema pretende destacar el grado o nivel de influencia que la ingeniería tiene en las variaciones de costo de un proyecto durante su ciclo de vida.

En la etapa previa a la construcción, como es obvio, los gastos en que se ha incurrido y los compromisos contraídos, son bajos en proporción al costo total del proyecto. Sin embargo, las decisiones que se toman en este período tienen una influencia decisiva en el futuro de las inversiones. Cae por su propio peso, entonces, que sea en esta ocasión cuando deban proponerse los diferentes esquemas de obra o de estructuras que utilicen métodos de construcción más eficientes; el uso de materiales baratos cercanos a la obra; la prefabricación, etc. Es decir, éste es el período en que deben emplearse todos los conocimientos y el ingenio de la empresa para evaluar diferentes soluciones hasta encontrar la mejor. Si la ingeniería de construcción se incorpora al término de esta etapa, es posible que ella imagine una alternativa constructiva más simple, más económica o más rápida que ya no es posible adoptar porque sus beneficios no compensan los costos de modificar obras o compromisos contraídos. La fase de definición de la obra es el período de la pubertad del proyecto: sus potencialidades deben cultivarse allí para que se reflejen en la madurez. ¿Quién debe preocuparse de esta optimización? La respuesta es simple: un jefe de proyecto responsable que haga participar en armonía al experto en diseño y al experto en construcción. En esta forma el proyecto entrará a su etapa de ejecución con el mejor diseño, tanto en calidad, como en plazos y costo.

Tan importante ha sido considerada la participación de la ingeniería de construcción en las etapas de factibilidad y de diseño del proyecto, que ha merecido atención especial del Instituto de la Industria de la Construcción en U.S.A. Como es sabido, este Instituto es patrocinado por unas 70 empresas norteamericanas, entre ellas: Atkinson, Bechtel, Fluor, IBM, Morrison, Knudsen, etc., y actúa como un Centro de Investigación asociado a la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Texas, en Austin.

En este campo, las investigaciones del Instituto se han centrado en lo que llaman "constructibilidad", que se define como "el uso óptimo de los conocimientos y de la maestría en construcción durante las fases de factibilidad, diseño, adquisiciones y ejecución, en orden a satisfacer el total de los objetivos del proyecto" (2). Sus recomendaciones básicas son:

1. Los programas de diseño y de la provisión de equipos deben supeditarse a los de la construcción.
2. Deben elegirse aquellos diseños que hagan eficiente la construcción.
3. Se preconiza el uso de diseños estándar.
4. Se debe investigar el empleo de diseños modulados o prearmados que faciliten su transporte e instalación.
5. Los diseños deben dar preferencia a los recursos más accesibles.
6. De igual modo, se preocuparán de las condiciones adversas del medio.
7. Las especificaciones no deben imponer métodos, materiales, tolerancias u otros requerimientos que, por ser innecesariamente complejos, dificulten la ejecución de la obra.

Según publicaciones de este Instituto, el haber empleado estos criterios en algunos importantes proyectos, disminuyó su costo entre el 6 y el 23%. En un artículo publicado en el Journal of Construction Engineering and Management se incluye la aplicación de estos conceptos a una obra construida en el Golfo Pérsico (3). El costo del apoyo prestado al diseño por los expertos en construcción fue de unos cientos de miles de dólares, mientras el ahorro en obra se estimó en una cifra 10 o 20 veces mayor.

Destaquemos, además, que la participación de un ingeniero del área de la construcción experto en evaluaciones, asegurará al jefe de proyecto que su presupuesto sea una cifra razonable, sobre la que puede tomar compromisos.

¿Qué sucede con la hermandad diseño-construcción durante la etapa posterior? En esta fase la obra se construye y la acción preponderante pasa del ingeniero de diseño al ingeniero constructor. Es este último quien será responsable de planificar, programar, dirigir, coordinar y evaluar hasta obtener los mejores resultados. Los gastos son cada vez mayores; el nivel de influencia de la ingeniería sobre posibles ahorros va disminuyendo permanentemente. Sin embargo, aún es posible sacar partido de la colaboración entre ambas especialidades. Los resultados no serán tan espectaculares como los de la etapa inicial, pero no son despreciables.

¿Cómo participa la ingeniería de diseño en la fase de construcción? La más conocida es aquella que tiene un carácter de complemento al diseño de la obra: adecuación a las condiciones reales del terreno y modificación de los planos debido a omisiones o imprevistos. Esta indispensable ingeniería de diseño rara vez producirá ahorros; su tendencia es aumentar los costos en valores que deben quedar cubiertos por el monto para contingencias que consulta todo buen presupuesto.

¿En qué forma podemos aprovechar el trabajo armónico de ambas especialidades de la ingeniería para bajar costos durante esta fase?. Las organizaciones norteamericanas ligadas a la industria y a la construcción han desarrollado una metodología que llaman VALUE ENGINEERING

PROGRAM, traducida como ingeniería de valor, pero que se puede denominaren forma más satisfactoria como: PROGRAMA DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS.

Esta metodología propicia incorporar en los documentos de licitación, cláusulas que incentiven al contratista a proponer soluciones alternativas que disminuyan costos y plazos, sin modificar la calidad y funcionalidad del proyecto. Durante la etapa de construcción se apoya cualquier iniciativa de cambios que involucren beneficios para el dueño y el contratista.

Más de alguno debe preguntarse: "pero ¿qué de extraño tiene?. Yo lo he hecho así muchas veces". Es verdad. Resulta habitual que los documentos contractuales contemplen y regulen el tratamiento que se dará a las proposiciones alternativas del constructor o del proveedor. En esta forma estamos en condiciones de aceptar soluciones con nuevas tecnologías que nos den confianza y resulten de menor precio. Dentro de este mismo criterio, por ejemplo, se analizará y apoyará la proposición del dueño de una obra para aumentar el diámetro de un túnel revestido aprovechando una sobrexcaución sistemática.

¿Por qué, entonces, resulta original esta metodología? La virtud del programa de evaluación de alternativas está en que es más que un hecho ocasional; es una política de la jefatura de la obra que, incluso, puede encomendarla a una unidad dentro de la organización. Ella está permanentemente observando el avance de las obras en busca de alguna modificación de diseño que, discutida con el dueño, el proyectista y el constructor, resulte de beneficio para todos. El sistema tiene un costo, que se compensa con las ganancias obtenidas.

### III. CONCLUSIONES

De los conceptos e ideas presentadas en este trabajo se pueden elaborar las siguientes conclusiones generales:

- El proyecto es una unidad que se beneficia con la armonía en que trabajen, simultánea e integradamente, las especialidades de diseño y construcción.
- Sin dejar de coexistir en todas las fases del proyecto, cada especialidad tiene su momento de gloria.
- Si bien es cierto que los resultados más valiosos de la integración de ambas especialidades se aprecia en el período previo a las definiciones del proyecto, los beneficios de esta comunión pueden prolongarse hasta el término del ciclo de materialización del proyecto, si se aplican los conceptos de la ingeniería de valor o programa de evaluación de alternativas.
- La única forma eficaz de conseguir el trabajo armónico, oportuno e integrado de ambas especialidades de la ingeniería civil es por medio de un jefe de proyecto capaz, paciente y de buena salud que resista hasta que la obra entre en servicio.

### REFERENCIAS

1. Barrie, D. S. and B. C. Paulson, Jr., Professional Construction Management, 2nd. ed., McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1984.
2. Construction Industry Institute, "Constructability: A Primer", Publication 3-1, Constructability Task Force, Austin, Texas, 1986.
3. Eidin, N. N., "Constructability Improvement of Project Designs", Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 114, No. 4, Diciembre 1986.

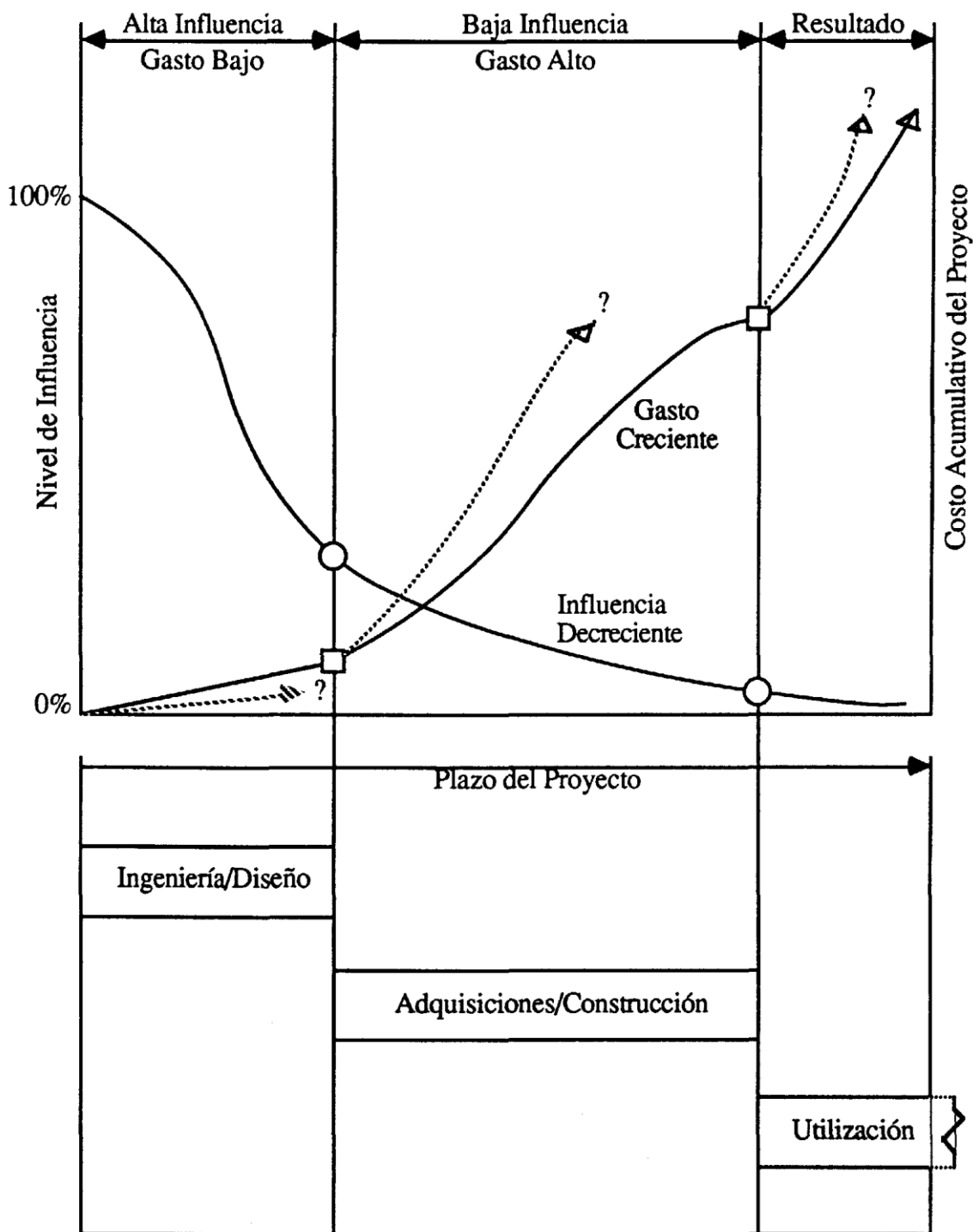


Fig. 1 Nivel de influencia sobre los costos del proyecto  
(Adaptado de Referencia (1))