



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

## FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



### **“ASEGURANDO EL VALOR EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN: UN ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA ETAPA DE DISEÑO”**

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR:  
LUIS GERARDO NEYRA GARCÍA

LIMA-PERÚ  
2008

## RESUMEN EJECUTIVO

En el Perú, en los últimos años, la actividad en el sector construcción se ha incrementado debido principalmente a los programas de vivienda promovidos por el Estado y a la inversión de grandes capitales privados, tanto nacionales como extranjeros. Sin embargo, este crecimiento no quiere decir que la construcción haya alcanzado un nivel óptimo. Durante las etapas de concepción, diseño y construcción existen prácticas arraigadas que producen pérdidas económicas, demoras en la entrega del proyecto e incumplimiento de objetivos; además, se cometen los mismos errores proyecto tras proyecto, entre otros problemas.

Los presupuestos adicionales y retrasos que se generan durante la etapa de construcción, los altos costos de operación y mantenimiento y la insatisfacción del cliente y de los usuarios son los principales problemas que ocurren debido a los errores que se cometen durante la etapa de diseño.

En esta tesis se presentan y describen las herramientas, prácticas y técnicas que han producido los mejores resultados en la Gestión del Diseño. Mediante la integración de éstas, se ha elaborado la propuesta de un proceso integral de gerencia del diseño llamado *Gerencia del Diseño con Valor*, el cual busca obtener diseños que satisfagan adecuadamente las necesidades de los usuarios y con los cuales se obtenga el mayor valor para la inversión del cliente. Los buenos diseños son necesarios para conseguir proyectos exitosos y con ello la satisfacción del cliente.

Finalmente, la propuesta presentada es evaluada mediante su aplicación en un proyecto de construcción real. El proyecto de aplicación consiste en el diseño y construcción de una piscina techada en un colegio de la ciudad de Lima.

## CONTENIDO

### PARTE 1

#### 1 INTRODUCCIÓN

- 1.1 La práctica actual
- 1.2 Establecimiento del problema
- 1.3 Aspiración, objetivo y estrategia
- 1.4 Metodología de investigación
- 1.5 Alcances y limitaciones
- 1.6 Estructura de la tesis
- 1.7 Referencias

#### 2 PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

- 2.1 Definición de un proyecto
- 2.2 Etapas de un proyecto de construcción
- 2.3 Gerencia de proyectos
- 2.4 Referencias

#### 3 INVOLUCRADOS

- 3.1 Identificación de los involucrados
- 3.2 Roles y actividades
- 3.3 Necesidad de una Gerencia del diseño
- 3.4 Referencias

### PARTE 2

#### 4 ÉXITO Y CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

- 4.1 Restricciones y éxito del diseño
- 4.2 Características del diseño
- 4.3 Referencias

#### 5 GERENCIA DEL DISEÑO

- 5.1 Formación del equipo de diseño
- 5.2 Planeamiento y programación
- 5.3 Flujo de la información
- 5.4 Coordinación de la información
- 5.5 Control de cambios
- 5.6 Solución de problemas y controversias
- 5.7 Referencias

## 6 DISEÑAR AL COSTO E INGENIERÍA DEL VALOR

- 6.1 Diseñar al costo
- 6.2 Ingeniería del valor
- 6.3 Referencias

## PARTE 3

### 7 PROPUESTA

- 7.1 Gerencia del diseño con valor

### 8 CASO PRÁCTICO

- 8.1 Descripción general del proyecto
- 8.2 Etapa de concepción – Briefing
- 8.3 Etapas de diseño y construcción

### 9 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- 9.1 Conclusiones
- 9.2 Recomendaciones

### ANEXOS

- 01 Checklist # 01: Medio ambiente
- 02 Checklist # 02: Constructabilidad
- 03 Programa de transferencia de información
- 04 Registro de incompatibilidades
- 05 Checklist # 03: Componentes para estimaciones
- 06 Modelo de costos
- 07 Formato de reunión de coordinación

# INTRODUCCIÓN

---

“El valor es maximizado cuando las necesidades son certeramente determinadas y cuando esas necesidades son satisfechas al máximo por el producto producido y por el proceso empleado para producirlo.”

*Glenn Ballard y Todd Zabelle  
Lean Design Process, Tools and Techniques White Paper #10  
Lean Construction Institute*

Actualmente existen muchos factores por los cuales los proyectos de construcción deben ser llevados a cabo de una manera diferente a la tradicional. Menores plazos disponibles, presupuestos reducidos e inalterables y la necesidad de productos de mayor calidad son los principales. Esta tesis trata sobre el estudio de las técnicas y herramientas aplicables durante la etapa de diseño de edificaciones y se buscará establecer un proceso integral de gerencia del diseño, con el cual se produzcan diseños que satisfagan adecuadamente las necesidades del usuario y de los cuales se obtenga el máximo valor para la inversión del cliente.

Este capítulo empezará con un análisis de la práctica actual; seguido del establecimiento del problema; la aspiración, el objetivo y la estrategia de la investigación; la metodología de investigación; los alcances y las limitaciones del estudio; y por último, la descripción de la estructura de la tesis.

## 1.1 La práctica actual

En el Perú, en los últimos años, la actividad en el sector construcción se ha incrementado debido principalmente a los programas de vivienda promovidos por el Estado y a la inversión de grandes capitales privados, tanto nacionales como extranjeros. Sin embargo, este crecimiento no quiere decir que la construcción haya alcanzado un nivel óptimo. Durante las etapas de concepción, diseño y construcción existen prácticas bastante arraigadas que producen pérdidas económicas, demoras en la

entrega del proyecto e incumplimiento de objetivos. Además, se cometen los mismos errores proyecto tras proyecto.

En los proyectos de construcción existen diferentes y numerosos intereses que deben ser satisfechos y no siempre los clientes los pueden definir de manera clara y completa desde el inicio (Gray y Hughes, 2001). En la mayoría de proyectos los clientes no son los usuarios de la edificación; además, frecuentemente los clientes no conocen detalladamente los procesos empleados por sus organizaciones para definir las necesidades de los usuarios (Winch, 2002). En el caso de edificaciones destinadas a oficinas, por ejemplo, un diseño con una mala funcionalidad debido a la falta de conocimiento de las actividades que se desarrollarán en ella, es motivo de una baja productividad del personal y por lo tanto se requiere que el cliente haga una mayor inversión a largo plazo.

El gran número de cambios realizados por los clientes y los diseñadores es uno de los motivos que generan problemas durante la etapa de construcción (Rossi, 2006). Esto se debe principalmente a la poca participación del cliente durante la etapa de diseño. En muchas ocasiones recién durante la construcción el cliente identifica algunas características de la edificación que no le agradan o que afectan a su negocio, pues sus requerimientos al no ser conocidos por los diseñadores no fueron tomados en cuenta en el diseño.

En la práctica tradicional los especialistas diseñan secuencialmente (Ballard, 2005). La gran mayoría de proyectos de edificaciones son encomendados a arquitectos, estos después de conocer las necesidades del cliente realizan el diseño arquitectónico y luego, en base a éste, los demás proyectistas de manera independiente completan el proceso. Una de las principales deficiencias en los proyectos debido a esta mala práctica es la incompatibilidad entre los planos de las diferentes especialidades. Estas incompatibilidades generan durante la etapa de construcción ampliaciones de plazo y presupuestos adicionales que encarecen al proyecto.

Otra deficiencia que genera problemas durante la etapa de construcción es la falta de conocimiento sobre las condiciones del terreno, las instalaciones, materiales disponibles, entre otros; que además de producir errores, puede hacer que se pierdan valiosas oportunidades para enriquecer al diseño.

Existe muy poca coordinación entre la etapas de diseño y construcción (Orihuela y Orihuela, 2005) El poco o ningún conocimiento de los procedimientos de construcción de los proyectistas y, algunas

veces, la suposición de procedimientos constructivos incorrectos complican el trabajo del constructor y pueden afectar el plazo de construcción o el costo del proyecto.

La producción de planos y especificaciones muy detallados es una práctica que no siempre produce beneficios. Es muy probable que los proyectistas no conozcan todas las consideraciones que deben ser tomadas en cuenta para la producción de los detalles necesarios para la producción y construcción de todos los componentes y sistemas de la edificación y al querer hacerlo pueden producir detalles y especificaciones con errores y deficiencias.

En el diseño no se consideran todas las etapas del proyecto (Ballard, 2005). Uno de los principales defectos de los proyectistas es evaluar los diseños en base al costo de construcción, dejando de lado la inversión que se debe realizar a largo plazo; es decir, la que se debe hacer para el funcionamiento y el mantenimiento de la edificación. Además, se diseña tratando de satisfacer las necesidades inmediatas del cliente y muchas veces no se producen diseños flexibles que puedan adecuarse a futuros requerimientos de los usuarios.

El alto grado de especialización alcanzado en el sector construcción hace necesaria la participación de un mayor número de involucrados en los proyectos. Generalmente el mayor número de grupos especializados se incorporan al proyecto durante la etapa de construcción, conocidos como contratistas especializados. Estos son contratados para que se encarguen de la construcción o provisión de aquellos sistemas y componentes especiales que forman parte de las edificaciones, por ejemplo, los sistemas de aire acondicionado o las estructuras metálicas. En la práctica común la experiencia y los conocimientos de los contratistas especializados son solo explotados durante la etapa de construcción y no en etapas tempranas donde mayores ventajas se podrían obtener de la participación de estos.

Por último, el proceso de aprendizaje en los proyectos no es un proceso continuo (Ballard, 2005). Generalmente el rol de los diseñadores se vuelve pasivo durante la etapa de construcción. No se realiza un seguimiento a la obra ni se implementa un sistema de retroalimentación que permita aprender de los errores que se cometen para evitar cometerlos en el futuro.

## 1.2 Establecimiento del problema

Los presupuestos adicionales y retrasos que se generan durante la etapa de construcción, los altos costos de operación y mantenimiento y la insatisfacción del cliente y de los usuarios son los principales problemas que ocurren debido a las malas prácticas durante la etapa de diseño. Esto nos lleva a la necesidad de encontrar un proceso de gerencia del diseño que incorpore las prácticas adecuadas, mediante el cual se eviten los problemas mencionados y se obtengan diseños que maximicen el valor de la inversión del cliente.

En el Cuadro 1.1 se muestra una lista de las principales deficiencias que actualmente se encuentran en la etapa de diseño.

- Determinación inadecuada de las necesidades del cliente y de los usuarios.
- Poca participación del cliente en la toma de decisiones.
- Falta de coordinación entre las especialidades.
- El diseño no toma cuenta los procedimientos de construcción adecuados y más beneficiosos.
- Falta de consideración de todas las etapas del ciclo de vida del proyecto.
- Desarrollo de una sola alternativa de diseño.
- Detallado deficiente y especificaciones incompletas, con errores e incoherencias.
- Participación de los contratistas especializados sólo en la etapa de construcción.
- No existe un proceso de retroalimentación.

**Cuadro 1.1:** Principales carencias del proceso de diseño actual

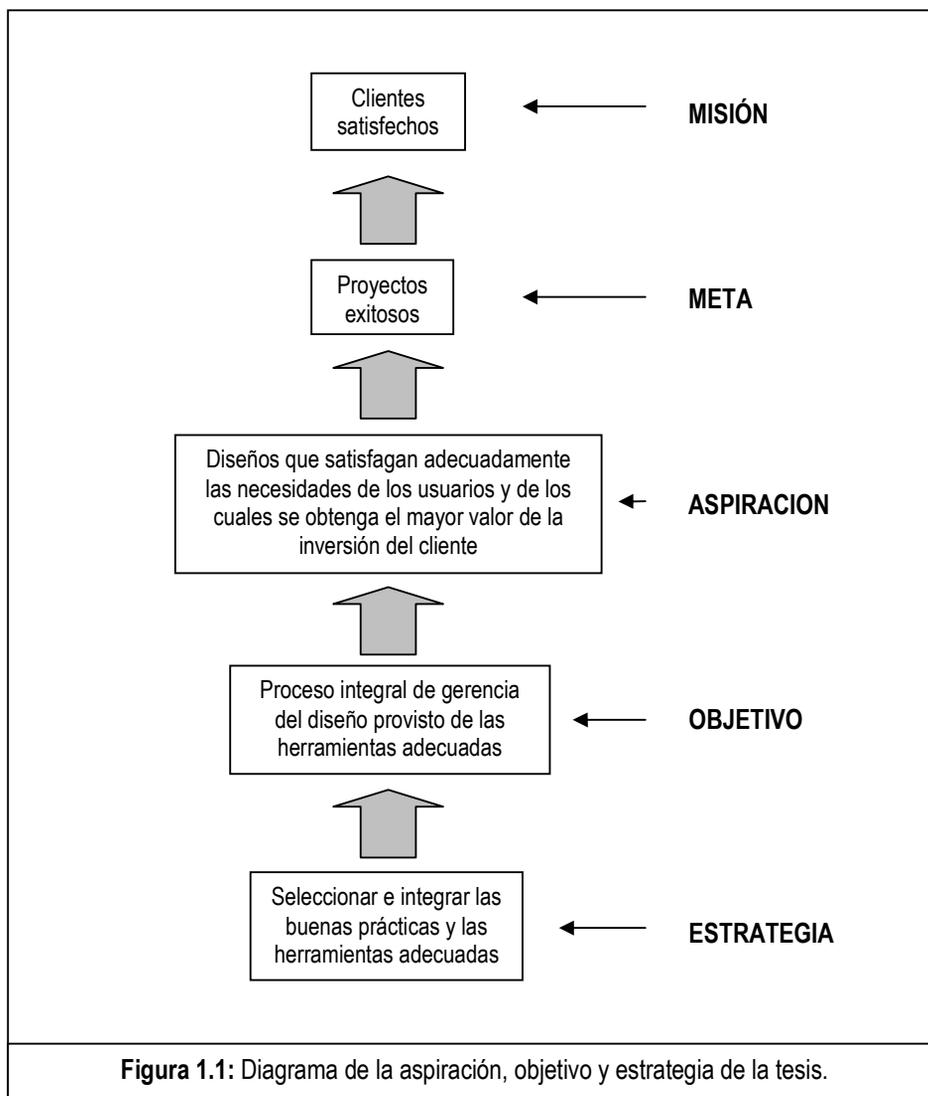
Fuente: El Autor

## 1.3 Aspiración, objetivo y estrategia

Esta tesis busca integrar las prácticas y técnicas que han producido los mejores resultados en la gestión del diseño para establecer un proceso integral de gerencia del diseño provisto de las herramientas idóneas, mediante el cual se obtengan diseños que satisfagan adecuadamente las necesidades de los usuarios y con los cuales se obtenga el mayor valor de la inversión del cliente. Los buenos diseños son necesarios para conseguir proyectos exitosos y con ello la satisfacción del cliente<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Además del cliente y de los usuarios, existen otros interesados del proyecto cuyas demandas deben ser tomadas en cuenta. Algunas veces éstas, al ser opuestas, generan conflictos que deben ser resueltos para producir el mayor grado de satisfacción de ambas partes.

La Figura 1.1 muestra el diagrama de la aspiración, objetivo y estrategia de la tesis. Adicionalmente, se muestra la meta y la misión de este estudio.



Fuente: El Autor

## 1.4 Metodología de investigación

Este estudio empieza con la revisión de la literatura relacionada a las bases, técnicas y herramientas de la gerencia de proyectos, principalmente enfocadas a la gerencia del diseño. Las fuentes de información utilizadas son las investigaciones de diferentes organizaciones internacionales, libros, páginas web, artículos, conversaciones vía correo electrónico con profesionales extranjeros y entrevistas a profesionales nacionales.

Después de la revisión y análisis de la literatura seleccionada se elaboró la propuesta del proceso de gerencia del diseño de edificaciones.

## 1.5 Alcances y limitaciones

La dificultad de definir la necesidad del cliente, la participación de un gran número de especialistas e interesados, los factores subjetivos a tomar en cuenta como la estética y la funcionalidad y el gran número de alternativas como posibles soluciones al problema son algunas de las características especiales de los proyectos de edificaciones y hacen que cada uno deba ser tratado en forma separada a los demás; por lo tanto, este estudio no debe verse como la aplicación de un determinado número de pasos y actividades a realizar similarmente en todos los proyectos. El gerente de diseño o el diseñador deberá seleccionar las prácticas y herramientas que crea que se ajusten a las características de un determinado proyecto.

La etapa de diseño es la única etapa del ciclo de vida del proyecto que será tratada en esta tesis; además, el enfoque de este estudio es netamente gerencial y no busca desarrollar conocimiento técnico específico sobre cómo diseñar.

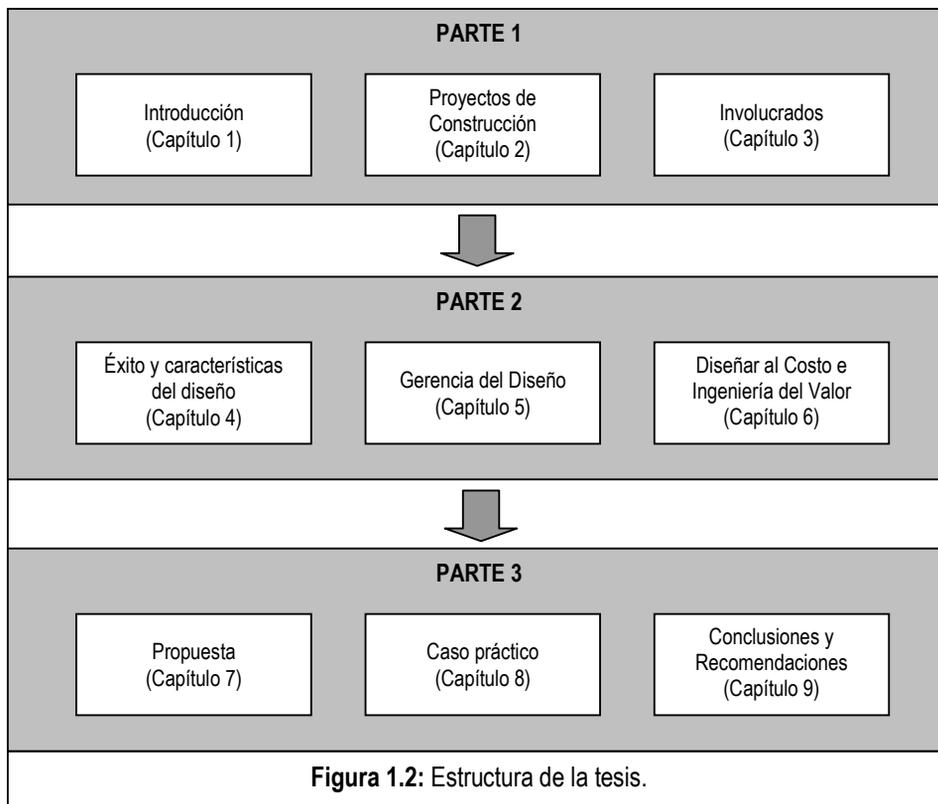
## 1.6 Estructura de la tesis

Este estudio está dividido en tres partes como se aprecia en la Figura 1.2.

En la PARTE 1 se desarrolla la introducción al tema de tesis, se presentan los términos básicos relacionados a la gerencia de proyectos de construcción y se realiza un análisis sobre los involucrados en estos.

En el Capítulo 1 se analiza la práctica actual y se establece la definición del problema. Luego se presentan la aspiración, el objetivo y la estrategia del estudio, así como la metodología de investigación y los alcances y limitaciones de la tesis.

En el Capítulo 2 se define lo que es un proyecto y se muestran sus principales características, se describe el ciclo de vida de un proyecto de construcción y se desarrolla una breve introducción a la gerencia de proyectos.



Fuente: El Autor

En el Capítulo 3 se identifican a los principales involucrados en un proyecto de construcción, se describen los roles y actividades que estos desempeñan y se expone la necesidad de contar con una gerencia del diseño.

En la PARTE 2 se expone la definición de un diseño exitoso y se describen las principales técnicas y herramientas relacionadas a la gerencia del diseño.

En el Capítulo 4 se discute la definición de un diseño exitoso y se tratan las principales características que debe incluir un buen diseño.

En el Capítulo 5 se indican las principales pautas para la formación del equipo de diseño adecuado, se describen las principales técnicas y herramientas para el planeamiento y la programación de la etapa de diseño, el control del flujo de la información y de la realización de cambios y la solución de problemas y controversias.

En el Capítulo 6 se tratan las metodologías Diseñar al costo e Ingeniería del Valor, las cuales se complementan entre sí, para la gerencia del costo y de la calidad de un proyecto de construcción.

En la PARTE 3 se presenta la propuesta del autor, el caso de aplicación de la propuesta y se exponen las conclusiones y recomendaciones del estudio.

En el Capítulo 7 se presenta y describe el modelo del proceso de Gerencia del diseño propuesto por el autor.

En el Capítulo 8 se explica el caso de aplicación de la propuesta.

Finalmente, en el Capítulo 9 se indican las conclusiones del estudio y las recomendaciones del autor.

## 1.7 Referencias

1. Ballard, G. (2005) Lean Project Definition and Design. Seminario Internacional: Ventajas competitivas en la construcción. Lima, Perú. Del 22 al 23 de noviembre del 2005.
2. Gray, C. & Hughes, W. (2001) Building Design Management. Butterworth Heinemann.
3. Orihuela, P. y Orihuela, J. (2005) Aplicaciones del Lean Design a proyectos inmobiliarios de vivienda. Seminario Internacional: Ventajas competitivas en la construcción. Lima, Perú. Del 22 al 23 de noviembre del 2005.
4. Rossi, M. (2006) Nuevos horizontes en Construction Management: La gestión de la productividad y del riesgo. Seminario de especialización para la gestión de proyectos. Lima, Perú. Del 28 al 29 de abril del 2006.
5. Winch, G. (2002) Managing Construction Projects: An information Processing Approach. Blackwell Science.

## PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

---

“Una de las principales maneras como las sociedades modernas generan nuevo valor es a través de proyectos que crean activos físicos que pueden ser explotados para conseguir objetivos sociales y económicos...”

Graham M. Winch  
*Managing Construction Projects: An information Processing Approach*  
Blackwell Science, 2001

En este capítulo se definirán algunos términos básicos relacionados a la gerencia de proyectos. Tras revisar algunas definiciones de lo que es un proyecto y señalar sus características, se identificarán y explicarán cada una de las etapas del ciclo de vida de un proyecto de construcción. Finalmente, se desarrolla una introducción al tema de gerencia de proyectos.

### 2.1 Definición de un Proyecto

Existen numerosas definiciones del término *proyecto*. A continuación se muestran dos de ellas:

La Association for Project Management (APM) del Reino Unido define un proyecto como “*una actividad aislada con objetivos definidos que a menudo incluyen tiempo, costo y calidad.*”

El Project Management Institute (PMI), de los Estados Unidos, define un proyecto como “*un esfuerzo temporal realizado para crear un producto o servicio único.*”

Un proyecto posee las siguientes características (Bower, 2002):

- Es temporal
- Es único
- Tiene objetivos específicos
- Es la causa y el medio de cambio

- Implica riesgo e incertidumbre
- Requiere la inversión de recursos humanos, materiales y financieros

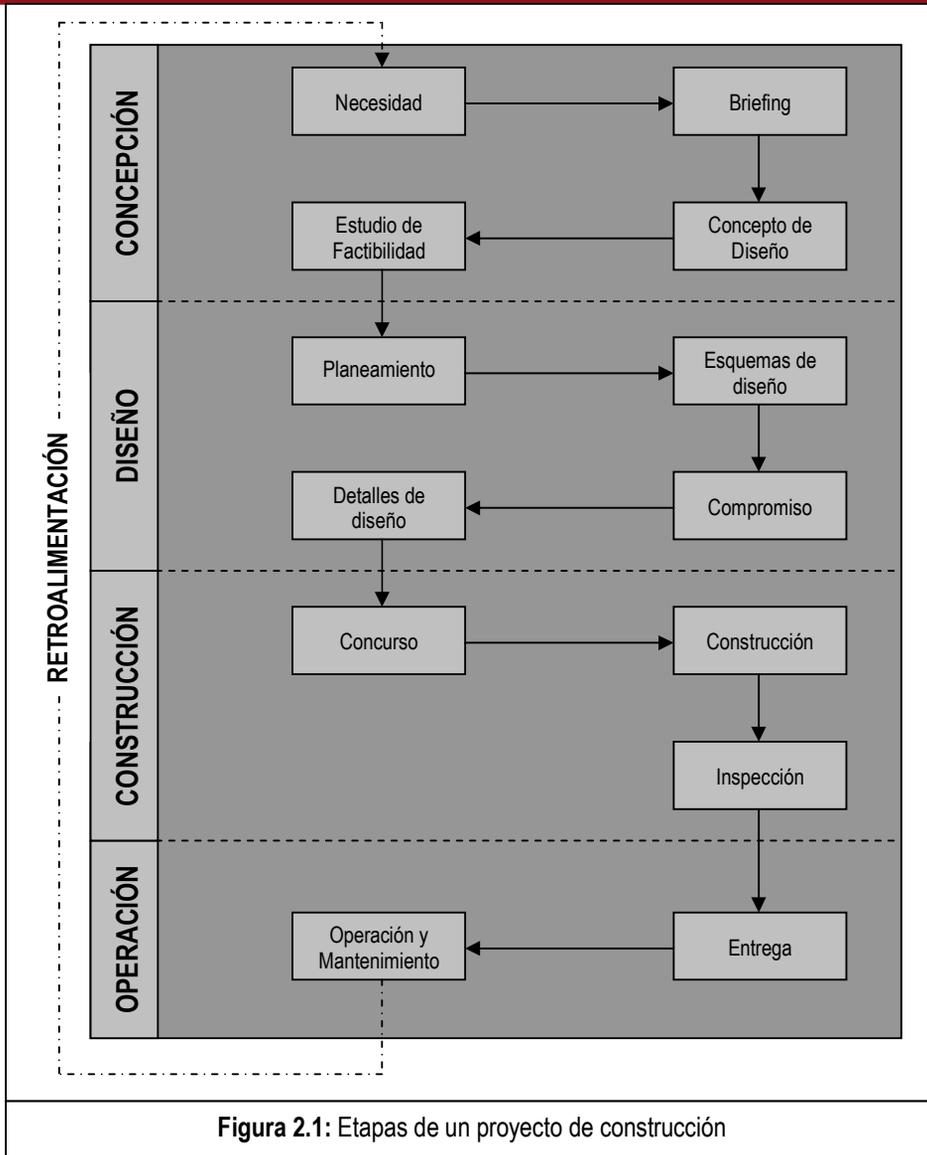
Además, los proyectos varían en escala y complejidad (Bower, 2002).

## 2.2 Etapas de un Proyecto de construcción

Como se mencionó anteriormente, un proyecto es temporal; es decir, tiene un comienzo y un fin. El ciclo de vida de un proyecto está dividido en diferentes etapas o fases, como se muestra en la Figura 2.1.

Numerosos autores y organizaciones proponen diferentes modelos para el ciclo de vida de un proyecto; además, la terminología utilizada es vasta. En este estudio se dividirá al ciclo de vida de un proyecto de construcción en las etapas de Concepción, Diseño, Construcción y Operación. Además, estas etapas se subdividen en etapas más pequeñas, como se muestra en la Figura 2.1. No necesariamente una etapa debe finalizar para que la siguiente empiece, algunas de las etapas de un proyecto pueden traslaparse. Como menciona Bower (2002), el objetivo de la secuencia debe ser producir un resultado útil, de tal manera que el propósito de cada etapa sea permitir que la siguiente pueda llevarse a cabo.

La naturaleza, complejidad y rapidez de las actividades y del empleo de recursos varía a medida que el proyecto se desarrolla (Bower, 2002). Además, es importante resaltar que, como indica Bower (2002), el trabajo ingenieril o de otro tipo necesario para desarrollar un proyecto es corto en relación al tiempo de vida de servicio del producto. En las siguientes líneas se realizará una descripción de cada una de las etapas de un proyecto.



Fuente: El Autor

### 2.2.1 Concepción

La identificación de una necesidad es el punto de inicio de un proyecto. Luego de la determinación de la necesidad a ser satisfecha, el equipo del proyecto concentrará todos sus esfuerzos en encontrar el tipo de proyecto que pueda satisfacer adecuadamente la demanda del cliente. En el Reino Unido se utiliza el término *briefing*, el cual según Kelly y Duerk (2002) se define como “el proceso de reunir, analizar y sintetizar la información necesaria durante la realización del proyecto para la toma de decisiones y su implementación.” Este proceso comprende dos etapas; en la primera se determinan el contexto y la misión del proyecto y en la segunda, se describen las especificaciones técnicas para el

desarrollo del proyecto (Kelly y Duerk, 2002). Toda la información producida en este proceso se compila y se elabora el documento llamado *brief*.

En este punto los diseñadores pueden producir el concepto y un esbozo del diseño del proyecto (Gray y Hughes, 2001); probablemente, en esta etapa se produzcan varias alternativas que puedan cumplir con la demanda del cliente. Simultáneamente se calcula el costo aproximado y el tiempo requerido. Para investigar con mayor profundidad las alternativas propuestas y los recursos necesarios para el desarrollo del proyecto, es necesario que el cliente brinde la autorización para que mayor cantidad de recursos puedan ser utilizados (Bower, 2002).

El estudio de factibilidad consiste en analizar las alternativas para hacer una comparación de costos y valor estimados, luego se escoge aquella que satisface mejor la necesidad del cliente (Bower, 2002). Es necesario señalar, como lo hace Bower (2002), que los resultados de este estudio son sólo probabilísticos; ya que, están basados en predicciones. El resultado de este estudio será la aprobación o el rechazo del proyecto (Bower, 2002).

### 2.2.2 Diseño

En esta etapa los diseñadores desarrollan el concepto de diseño y elaboran los esquemas de diseño donde muestran los sistemas básicos de la edificación. Tras la aprobación del cliente, tanto de los esquemas de diseño como de los presupuestos de costo y tiempo, los diseñadores producen la información requerida para la construcción.

### 2.2.3 Construcción y Operación

La etapa de construcción es aquella donde mayor cantidad de recursos son empleados. En esta etapa participan diferentes especialistas, dependiendo de la complejidad del proyecto. Concluida la etapa de construcción la edificación inicia su etapa productiva. Un mantenimiento adecuado debe llevarse a cabo para conseguir un desempeño óptimo de la edificación, así como conservar su estética.

Finalmente un adecuado programa de retroalimentación debe ser implementado por el equipo del proyecto. Es necesario aprender de las experiencias para evitar cometer los mismos errores proyecto tras proyecto y aprovechar ese conocimiento en proyectos futuros.

## 2.3 Gerencia de proyectos

Existen diferentes puntos de vista sobre lo que la Gerencia de Proyectos es, o debería ser. A continuación se muestran dos definiciones del término:

La Association for Project Management define Gerencia de Proyectos como *“el planeamiento, organización, monitoreo y control de todos los aspectos de un proyecto y la motivación de los involucrados para alcanzar los objetivos del proyecto de manera segura y dentro del tiempo, costo y calidad requeridos.”*

El Project Management Institute define Gerencia de Proyectos como *“el arte de dirigir y coordinar los recursos humanos y materiales a través del ciclo de vida del proyecto mediante el empleo de las técnicas modernas de gerencia para conseguir los objetivos predeterminados de alcance, costo, tiempo, calidad y satisfacción de los involucrados.”*

Todos los proyectos pasan a través de un ciclo de vida de desarrollo, que según Morris (2004), ésta es la única característica que diferencia a un proyecto de algo que no lo es. Partiendo de esta premisa, Morris (2004) señala que las habilidades y acciones gerenciales necesarias para lograr el éxito a través de las etapas del ciclo de vida permiten diferenciar a la gerencia de proyectos de otro tipo de gerencia.

Según Morris (2004), lo que precisamente comprende la gerencia de proyectos varía según la naturaleza del proyecto, el rol del gerente de proyectos y, por último, la etapa del ciclo de vida del proyecto en la cual el gerente de proyectos está trabajando.

Según el Construction Industry Council del Reino Unido, el objetivo de la gerencia de proyectos en la industria de la construcción es agregar valor específico y significativo al proceso de desarrollo de los proyectos.

## 2.4 Referencias

1. APM (2000) Body of Knowledge. Cuarta Edición, Association for Project Management.
2. Bower, D. (2002) Projects and Project Management. En: Smith, N.J. ed. Engineering Project Management. Segunda Edición, Blackwell Science. p. 1-15.

3. Construction Industry Council (2006) Purpose of construction project management. [online] <http://www.cic.org.uk/activities/projman.shtml> (Site visitado en julio del 2006).
4. Gray, C. & Hughes, W. (2001) Building Design Management. Butterworth Heinemann.
5. Kelly, J. & Duerk, D. (2002) Construction Project Briefing/Architectural Programming. En: Kelly, J.; Morledge, R. & Wilkinson, S. eds. Best Value in Construction. Blackwell Science & RICS Foundation. p. 38-58.
6. Morris, P.W.G. (2004) Science, objective knowledge, and the theory of project management. Disponible en: [http://www.bartlett.ucl.ac.uk/research/management/ICE\\_paper.pdf](http://www.bartlett.ucl.ac.uk/research/management/ICE_paper.pdf)
7. PMI (2000) A Guide to the Project Management Body of Knowledge. Project Management Institute.



## INVOLUCRADOS

---

“Sólo se puede alcanzar la eficiencia en la construcción a través de la cooperación de todos los participantes del proyecto... Esto ocurrirá si se reconoce que cada jugador no posee todas las piezas del rompecabezas y que colectivamente pueden aportar su conocimiento y sus recursos para alcanzar el éxito para todos los participantes.”

*George Jergeas and John Van der Put  
Benefits of Constructability on Construction Projects  
Journal of Construction and Engineering Management, July 2001*

En este capítulo se identificarán a los involucrados en un proyecto de construcción y se realizará un análisis sobre la participación de los más importantes en la etapa de diseño. Al final se discutirán las razones por las cuales es necesaria una gerencia de diseño.

### 3.1 Identificación de los involucrados

Moodley (2002) adapta la definición sugerida por Edward Freeman (1984) del término *involucrados*, aplicada a las organizaciones, a un proyecto diciendo que los involucrados ‘*son aquellos grupos o individuos que pueden afectar o verse afectados por el proyecto*’. Existen numerosos involucrados en un proyecto de construcción y ellos pueden obtener beneficios o sufrir pérdidas como resultado del proyecto (Winch, 2002).

Vastas clasificaciones de los involucrados en un proyecto han sido propuestas por autores y organizaciones. En este estudio se empleará la utilizada por Winch (2002), quien los clasifica como se muestra en el Cuadro 3.1. Además, en este cuadro se muestran a los principales involucrados en un proyecto.

Internos		Externos	
Demandantes	Proveedores	Privados	Públicos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clientes</li> <li>• Financistas</li> <li>• Empleados del cliente</li> <li>• Clientes del cliente</li> <li>• Arrendatarios del cliente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquitectos</li> <li>• Ingenieros</li> <li>• Contratista principal</li> <li>• Especialistas</li> <li>• Proveedores de insumos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residentes locales</li> <li>• Dueños de tierras</li> <li>• Ambientalistas</li> <li>• Conservadores</li> <li>• Arqueólogos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agencias reguladoras</li> <li>• Gobiernos locales</li> <li>• Gobiernos nacionales</li> </ul>
<b>Cuadro 3.1:</b> Principales involucrados en un proyecto de construcción			

Fuente: Winch (2002)

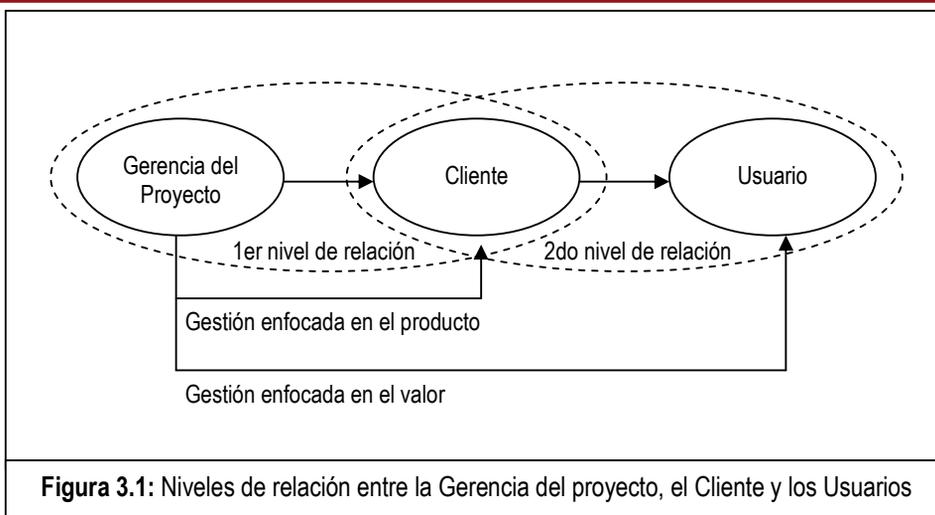
Los involucrados internos son aquellos que tienen un contrato legal con el cliente, y los externos son aquellos que tienen un interés directo en el proyecto. Además, los involucrados internos son divididos en aquellos del lado de la oferta y los del lado de la demanda, y los externos en grupos privados y públicos.

### 3.2 Roles y actividades

En las siguientes líneas se analizarán los roles y actividades de los principales involucrados en un proyecto de construcción durante la etapa de diseño. Además, se discutirán algunos problemas importantes que se generan por el conflicto de intereses que existe entre estos.

#### 3.2.1 El cliente y los usuarios

Según Winch (2002), una premisa fundamental en la gerencia de proyectos de construcción es que el cliente es capaz de articular completamente los intereses de los involucrados del lado de la demanda (Ver Cuadro 3.1), pero muchas veces esto no es cierto. Por ejemplo, debido a la complejidad de algunas organizaciones el cliente no conoce completamente las necesidades de los usuarios de la edificación, quienes pueden ser sus clientes o empleados. Entonces existe la necesidad de diferenciar a los usuarios de los clientes; ya que, en muchos proyectos de construcción los clientes no son los usuarios de la edificación. Utilizando la terminología de Zeisel (1984) podemos referirnos a los “clientes pagadores” y a los “clientes usuarios” (Lawson, 2006). Según esta división existen dos niveles de relación, tal como se muestra en la Figura 3.1. El primero se refiere a la relación que existe entre el cliente y la gerencia de proyectos y el segundo, a la relación que existe entre el cliente y los usuarios (cliente del cliente).



**Figura 3.1:** Niveles de relación entre la Gerencia del proyecto, el Cliente y los Usuarios

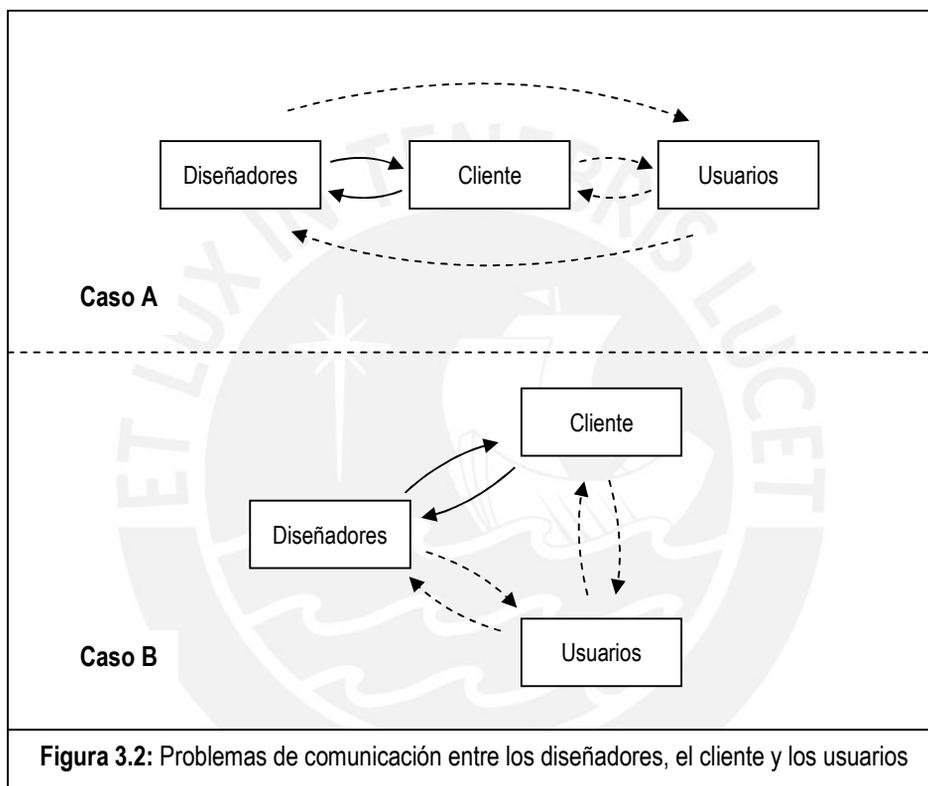
Fuente: Apuntes de clases del curso “Gerencia de Proyectos”, PUCP (2005)

El primer nivel de relación está enfocado principalmente a la obtención del mayor beneficio para el cliente en términos de costo, tiempo y calidad del proyecto. El segundo nivel de relación está enfocado a la maximización de valor del proyecto mediante la determinación de lo que los usuarios realmente necesitan y que finalmente va a producir mayores beneficios para el negocio del cliente.

En la etapa de diseño la participación del cliente y de los usuarios es necesaria. Generalmente, el cliente es quien aprueba los diseños y los presupuestos desarrollados en esta etapa. Pero a lo largo del proceso de diseño se generan diferentes soluciones alternativas para un problema y en base a un análisis de las ventajas y desventajas que presentan se elige a la mejor. Lawson (2006) llama a este proceso ‘juicio de valor’ y; ya que, en él se deben realizar juicios subjetivos resalta la necesidad de participación en la toma de decisiones de aquellos que puedan verse afectados por los resultados de este proceso. Entonces la participación del cliente y de los usuarios es indispensable para elegir la alternativa que satisfaga adecuadamente sus necesidades.

Es importante notar que existen algunos problemas de comunicación entre los proyectistas y los usuarios. Como indica Lawson (2006), generalmente los usuarios están más alejados de los diseñadores que los clientes. Page (1972), citado por Lawson (2006), en un estudio describe a las “barreras personales”, formadas por las organizaciones para prevenir que reacciones perjudiciales de los usuarios lleguen a los diseñadores, que hacen que la comunicación entre el diseñador y los usuarios sea por medio de la organización de cliente; es decir, indirecta. Esta situación se grafica en el Caso A de la Figura 3.2, donde las líneas punteadas representan la falta de comunicación entre los involucrados mientras que las líneas continuas, la existencia de comunicación. Además, existe lo que

Zeisel (1984), citado por Lawson (2006), llama “vacíos”. Esto se refiere a que si bien puede haber una buena comunicación entre el cliente y los diseñadores, existe una falta de comunicación entre éstos y el usuario de la edificación. El Caso B de la Figura 3.2 grafica esta situación. Si bien la solución de este último problema depende únicamente de cambiar la manera cómo los proyectistas diseñan; la solución del primer problema es más compleja, pues no depende sólo de los diseñadores sino además de un cambio en la manera de trabajar de la organización del cliente.



Fuentes: Caso A: Desarrollado de Lawson (2006) / Caso B: Adaptado de Lawson (2006)

Según Gray y Hughes (2001) la participación del cliente es mayor durante el briefing, la generación del concepto de diseño, la factibilidad y la producción de los esquemas de diseño; y normalmente, se reduce durante el desarrollo del detallado y la etapa de construcción. Esto se debe a que el cliente espera estar menos involucrado en el proyecto al contratar al equipo de diseño y delegar la responsabilidad a éste (Gray y Hughes, 2001).

### 3.2.2 Los diseñadores

Generalmente los diseñadores que participan en los proyectos de edificaciones son el arquitecto y los ingenieros, normalmente de las especialidades de estructuras e instalaciones. Usualmente, el trabajo

de los ingenieros comienza desde la elaboración del concepto de diseño y se incrementa hasta alcanzar el pico durante la producción de los detalles de diseño (Gray y Hughes, 2001).

Ya que, como menciona Lawson (2006), los problemas de diseño son multidimensionales son también bastante interactivos. Es necesario que los diferentes miembros del equipo de diseño interactúen permanentemente para buscar las soluciones más adecuadas, pues alterar alguna característica del diseño puede generar la necesidad de producir grandes cambios en él.

### 3.2.3 Los contratistas especializados

El rol de los contratistas especializados consiste en proveer un producto especial para que sea incluido en la edificación para que ésta funcione adecuadamente (FreeCPD, 2004). La experiencia de los contratistas especializados puede ser explotada tanto durante la etapa de construcción como en la de diseño. Gregory Howell (2006) del Lean Construction Institute comenta que en la práctica actual, en los Estados Unidos, los diseñadores tratan de producir planos muy completos y luego los contratistas especializados los transforman en dibujos que puedan ser utilizados para la construcción; sin embargo, los diseñadores no hacen un buen trabajo y es necesario realizar cambios en los diseños por suposiciones incorrectas y otras decisiones inadecuadas. La práctica recomendada por el Lean Construction Institute consiste en que los diseñadores produzcan mejores esquemas de diseño y deleguen el detallado a los grupos especializados. Ésta práctica permite obtener mejores detalles constructivos. Sin embargo, este no es el único beneficio que se puede obtener de la participación de los contratistas especializados en la etapa de diseño. Gil *et al.* (2000) clasificaron las contribuciones que se pueden obtener de los contratistas especializados durante la etapa de diseño en cuatro categorías, las cuales se tratan a continuación.

#### 3.2.3.1 Habilidad para desarrollar soluciones creativas

Existen dos razones principales por las cuales los contratistas especializados pueden incorporar en el diseño soluciones creativas. La primera se debe a la constante participación de estos en proyectos diferentes, tanto en alcances como en los equipos encargados de desarrollarlos, que requieren de los contratistas especializados soluciones alternativas para los problemas de diseño. La segunda razón es que este tipo de contratistas conocen las restricciones que afectan a los procesos constructivos.

### 3.2.3.2 Conocimiento sobre los requerimientos para la construcción

Debido a que los contratistas especializados construyen sus diseños, éstos van adquiriendo conocimiento sobre las restricciones y requerimientos de los procesos constructivos. Al poseer este conocimiento pueden prevenir a los diseñadores de producir diseños difíciles de construir o inconstruibles.

### 3.2.3.3 Conocimiento sobre la fabricación y habilidades de construcción

El conocimiento sobre la mano de obra y equipos (tecnología) disponibles permiten a los diseñadores tomar mejores decisiones ligadas a la disponibilidad de las habilidades constructivas sin sacrificar la calidad del diseño.

### 3.2.3.4 Conocimiento sobre la provisión de materiales y equipos

Las especificaciones hechas por los diseñadores muchas veces producen problemas en la etapa de construcción debido a la especificación de materiales que ya no son producidos o cuya adquisición es complicada. Para utilizar materiales alternativos es necesario que su uso sea aprobado por el diseñador pero este proceso produce retrasos en obra. Los contratistas especializados al conocer a los proveedores pueden aconsejar a los diseñadores a especificar los materiales más convenientes para el proyecto. Además, usualmente los contratistas especializados también son responsables del mantenimiento de los sistemas que construyen. Esto permite que conozcan el desempeño de los materiales y equipos y sus requerimientos para la operación y el mantenimiento.

La mayor participación de los contratistas especializados empezaría durante la producción de los detalles constructivos y especificaciones. A diferencia de lo descrito en el Capítulo 2, el detallado se podría dividir en dos etapas. La primera consistiría en el detallado del arquitecto y los ingenieros consultores, normalmente de las especialidades de estructuras e instalaciones. La segunda consistiría en el detallado de los contratistas especialistas, cuya cantidad dependerá de las características del proyecto.

El aporte de los contratistas especializados puede darse en cualquier etapa de un proyecto de construcción. Mientras más temprana sea su incorporación en el proyecto, mayores serán los beneficios que se obtendrán de su participación. En proyectos en los cuales una gran cantidad del detallado vaya a ser actividad de los contratistas especializados, es recomendable pedirles su opinión sobre la trabajabilidad de los esquemas de diseño (Free CPD, 2004).

### 3.2.4 Los legisladores

Si bien los legisladores no participan en el proceso de diseño en sí, ellos crean restricciones dentro de las cuales los diseñadores deben trabajar (Lawson, 2006). Como menciona Lawson (2006), existen desde estándares y códigos de práctica hasta guías y recomendaciones que deben, o en algunos casos pueden, ser tomadas en cuenta por los diseñadores.

Según Winch (2002), las agencias reguladoras tienden a ser indiferentes frente a los asuntos particulares de un proyecto, siempre que éste cumpla con los códigos. Además, es importante mencionar que descuidos en el diseño pueden generar retrasos y pérdidas de recursos importantes por la necesidad de corregir algunas características del diseño y presentar el diseño nuevamente para su aprobación.

### 3.3 Necesidad de una Gerencia del diseño

Es importante notar que donde el equipo de diseño ve oportunidades, otros involucrados ven amenazas (Moodley, 2002). Incluso entre aquellos que desean que el proyecto sea exitoso existe un conflicto de intereses. Como menciona Winch (2002), existe un conflicto de intereses inherente entre los involucrados del lado de la oferta y aquellos del lado de la demanda. Según Winch (2002), no es ningún accidente que existan situaciones en las cuales los involucrados ubicados del lado de la oferta, particularmente los arquitectos, se preocupen más por aspectos simbólicos de la edificación que por satisfacer las necesidades del cliente. Esto se debe a que los beneficios que obtienen algunos involucrados son el dinero y la experiencia adquirida por trabajar en el proyecto (Winch, 2002). Además, según Winch (2002), para algunas organizaciones el beneficio más importante es la reputación generada al trabajar en el proyecto.

Como se tratará en un capítulo posterior es importante indicar que pueden existir problemas en los proyectos debido a la disputa por los recursos disponibles de las empresas contratadas para el desarrollo de los proyectos. Generalmente las empresas participan en diferentes proyectos al mismo tiempo y distribuyen sus recursos entre estos, y si no fueran suficientes generarían retrasos u otros problemas en los proyectos que carecen de atención. La capacidad de invertir recursos es conocimiento interno de cada firma y cumplir con los compromisos adquiridos depende de la honestidad de cada firma para tomar los trabajos que estén dentro de su capacidad. Winch (2002) se refiere a este problema como *peligro moral* con el cual el cliente se cuestiona si la firma contratada empleará sus recursos para el beneficio del cliente y no para el beneficio propio o de otro cliente.

La necesidad de la participación de numerosas disciplinas durante la etapa de diseño hace que los proyectos de construcción sean complejos; esta situación se agrava debido al proceso de especialización y a las exigencias económicas y profesionales de que cada especialidad pertenezca a diferentes firmas u organizaciones (Gray y Hughes, 2001).

Son muchos y bastante complejos los problemas que se producen durante la etapa de diseño de un proyecto de construcción. Según Fisher y Morledge (2002) la falta de cooperación es una característica principal en la industria de la construcción, basada principalmente en los diferentes puntos de vista e intereses entre los clientes, diseñadores, ingenieros, consultores y contratistas.

Entonces existe la necesidad de una gerencia de diseño independiente<sup>1</sup> que integre el trabajo de los miembros del equipo de diseño y asegure que el esfuerzo de los consultores y especialistas estará enfocado hacia el cumplimiento de los objetivos del cliente.

### 3.4 Referencias

1. Del Águila, R. (2005) Apuntes del curso "Gerencia de Proyectos". Pontificia Universidad Católica del Perú.
2. Fisher, N. & Morledge, R. (2002) Supply Chain Management. En: Kelly, J.; Morledge, R. & Wilkinson, S. eds. Best Value in Construction. Blackwell Science & RICS Foundation. p. 210-221.
3. Free CPD (2004) Specialist contractors' design. Disponible en: <http://www.freecpd.co.uk/>
4. GII, N.; Tommelein, I.; Kirkendall, R.L. y Ballard, G. (2000) Contribution of Specialty Contractor Knowledge to Early Design. 8va Conferencia del Internacional Group for Lean Construction. Brighton, Reino Unido. Del 17 al 19 de julio del 2000.
5. Gray, C. & Hughes, W. (2001) Building Design Management. Butterworth Heinemann.
6. Howell, G. Director del Lean Construction Institute. Conversación vía correo electrónico. Febrero del 2006.
7. Lawson, B. (2006) How Designers Think: The design process demystified. Cuarta Edición, Architectural Press.
8. Moodley, K. (2002) Project Stakeholders. En: Smith, N.J. ed. Engineering Project Management. Segunda Edición, Blackwell Science. p. 127-136.
9. Winch, G. (2002) Managing Construction Projects: An information Processing Approach. Blackwell Science.

<sup>1</sup> Según Gray y Hughes (2001), en la literatura relacionada a la gerencia la idea de separar la responsabilidad de gerenciar de la responsabilidad de hacer el trabajo está bastante establecida. Además, ellos mencionan que la gerencia del proceso de diseño es una actividad diferente al acto de diseñar.

## ÉXITO Y CARACTERÍSTICAS DEL DISEÑO

---

“...los problemas de diseño no son rompecabezas...ni los diseñadores ni otros pueden reconocer la solución `correcta`, aunque los diseñadores usualmente experimentan una emoción similar al sentimiento de `certeza` cuando una idea emerge de repente y parece satisfacer varios aspectos del problema.”

Bryan Lawson  
*How Designers Think: The design process demystified*  
Architectural Press, 2006

En este capítulo se discutirá la definición de un diseño exitoso y se tratarán las principales características que debe incluir un buen diseño.

### 4.1 Restricciones y éxito del diseño

El diseño es elaborado tomando en cuenta las restricciones impuestas por los diferentes involucrados en el proyecto. Estas restricciones se refieren a los requerimientos del cliente y de los usuarios, las normas y códigos vigentes, entre otros. En esta tesis se utiliza la palabra restricción y no criterio como lo hacen diferentes autores. Al respecto, Lawson (2006) dice lo siguiente:

“...restricciones por las que me refiero a los factores que deben ser tomados en cuenta para formar la solución...Es muy raro el caso en mi experiencia que se haya definido completamente de manera clara el criterio para el éxito antes de realizar intentos para producir soluciones... Al final un buen diseño es aquel que cumple con todas las restricciones hasta un cierto grado en relación a lo aceptado...El diseñador debe trabajar para negociar una solución que cumpla con los criterios relativos y diferentes impuestos, a veces implícitamente, por los clientes, usuarios, legisladores y miembros del equipo de diseño.”

Winch (2002) dice lo siguiente:

“...el nivel de calidad apropiado para las necesidades del cliente según lo articulado en la misión del proyecto es el resultado de una larga negociación entre el deseo, las posibilidades tecnológicas, los factores reguladores y la viabilidad financiera. Alcanzar totalmente todos los elementos de la misión del proyecto es raramente posible, lo

*que es importante es que el cliente conozca por qué no se han podido alcanzar, mientras que la solución cumpla con los criterios fundamentales establecidos en la misión del proyecto.”*

De ambos comentarios podemos concluir que diseñar implica negociar con los involucrados en el proyecto de tal manera que se obtengan los mejores beneficios para todas las partes. Entonces un diseño exitoso puede definirse como aquel que encuentra el balance entre la satisfacción de las necesidades del cliente, de los usuarios y de los demás involucrados en el proyecto, cumple con los códigos y normas vigentes y en el cual las diferentes especialidades se complementen entre sí para trabajar como una unidad al más bajo costo y cuyo tiempo de implementación sea el menor posible.

Es importante que las restricciones sean claramente definidas desde el inicio del proyecto y conocidas por todo el equipo de diseño; por ejemplo, la definición de un costo objetivo o si la estética es lo más importante para el cliente sin importar mucho el costo asociado. No hacerlo podría producir cambios en el diseño en etapas más avanzadas que significarían la inversión de una mayor cantidad de recursos.

## 4.2 Características del diseño

En este acápite se describirán las principales características que debe poseer un diseño para asegurar que produce valor para el dinero del cliente, opera satisfactoriamente a largo plazo y es fácil de construir.

### 4.2.1 Funcionalidad / Productividad

Las edificaciones son construidas para satisfacer una necesidad como puede ser la de vivienda o la necesidad de albergar a una organización dedicada al comercio. En el segundo caso el objetivo del cliente o de la organización del cliente va más allá que la construcción de la edificación. Esta más bien le servirá como herramienta para generar riqueza para su negocio o para proveer un servicio. En un mundo tan competitivo como el actual, los clientes necesitan edificaciones en las cuales su personal pueda dar lo mejor de sí. Para satisfacer esta necesidad de eficiencia los diseñadores deben conocer las actividades que se realizarán dentro de la edificación y la manera cómo se llevarán a cabo. Evans *et al.* (1998) en un artículo sobre los costos a largo plazo de poseer y utilizar una edificación exponen los ratios que se muestran en el Cuadro 4.1 sobre los costos de operación del negocio y los costos de construcción, operación y mantenimiento de la edificación.

Costo de Construcción	Costos de Operación y Mantenimiento del Edificio	Costos de Operación del Negocio
1	5	200
<b>Cuadro 4.1:</b> Ratios de los costos de posesión y operación de un edificio comercial de oficinas		

Fuente: Evans *et al* (1998)

Del Cuadro 4.1 podemos observar la importancia que tienen los costos de operación del negocio del cliente y podemos concluir que es necesario que los diseños permitan una alta productividad del personal y que, por lo tanto, reduzcan la inversión a largo plazo que el cliente debe realizar para que su negocio funcione.

Según el WBDG Funcional / Operacional Comité (2007), existen tres principios asociados al aseguramiento de la funcionalidad de una edificación:

- Conocer las necesidades de funcionamiento
- Asegurar la integración de los sistemas, materiales y tecnologías de la edificación
- Asegurar el cumplimiento de los objetivos de desempeño de la edificación

#### 4.2.1.1 Diagrama de los espacios funcionales

Esta técnica pertenece a la metodología de la Ingeniería del Valor y busca obtener la mejor funcionalidad de la edificación al más bajo costo.

Son cinco los pasos o actividades que conforman esta técnica y se describen a continuación según lo descrito por Kelly *et al.* (2004):

1. Determinación de los usuarios: en este primer paso se deben identificar a todos los usuarios de la edificación.
2. Producción del gráfico del flujo: ya que cada uno de los usuarios identificados en el primer paso va a realizar actividades, estas deben ser analizadas para determinar los requerimientos de espacio. Para esto se produce un gráfico en el cual se indican las actividades y los lugares donde estas se llevarán a cabo, luego estas son conectadas con flechas para indicar la necesidad de desplazamiento del individuo.

3. Especificación del espacio: se determinan los atributos que deben tener los espacios según los requerimientos de los usuarios; por ejemplo, aire acondicionado, espacios muy iluminados o aislamiento acústico.
  
4. Matriz de adyacencias: cada espacio requerido es identificado con un nombre y se elabora la matriz donde se indican los requerimientos de adyacencia de los ambientes de la edificación. La escala es desde +5 hasta -5, donde +5 significa que los ambientes deben estar conectados y -5 significa que los ambientes deben ser totalmente independientes entre sí. En la Figura 4.1 se muestra un ejemplo de la matriz de adyacencias para los ambientes de un juzgado (Kelly *et al.*, 2004).

Corte					
5	Oficina del juez				
2	1	Oficina para los abogados			
5	-1	2	Oficina policial y celdas		
1	-1	4	5	Cuarto de entrevistas al prisionero	
5	0	-1	-5	-5	Cuarto del jurado

**Figura 4.1:** Matriz de adyacencias de un juzgado

Fuente: Kelly *et al.* (2004)

5. Racionalización: el objetivo de este último paso es obtener un diseño más eficiente mediante la racionalización entre aquellos espacios que tengan especificaciones funcionales similares; por ejemplo, si existiesen varios ambientes que requieran aire acondicionado lo más eficiente sería juntarlos pues se necesitaría un sistema más pequeño y menos potente.

Para obtener diseños funcionales y de los cuales se pueda conseguir una alta productividad del personal se requiere una comunicación muy cercana entre los diseñadores, el cliente y los usuarios. Además, el cliente debe conocer bien la manera como su negocio funciona y los diseñadores deben entenderla claramente.

## 4.2.2 Flexibilidad

Existen edificaciones cuyas infraestructuras son incapaces de soportar la adición de las rápidamente crecientes redes de data y comunicaciones. Estas edificaciones con períodos de vida útil de 50, 75 ó 100 años quedan rápidamente obsoletas funcionalmente, en menos de 10 años (Cleary, 2002).

Normalmente el diseño de las edificaciones se realiza para un tiempo de vida útil bastante extenso; a lo largo del cual los requerimientos de los usuarios cambiarán rápidamente en intervalos de tiempo bastante pequeños en comparación al tiempo de vida de la edificación (Evans *et al.*, 1998). Estos cambios se deben principalmente al desarrollo tecnológico, a cambios en los equipos de trabajo y a las cambiantes relaciones de negocio (WBDG Productive Committee, 2006); también al cambio continuo de la naturaleza del trabajo y de la manera como la gente interactúa (Evans *et al.*, 1998).

En estos tiempos en los cuales el cambio es permanente y cada vez más acelerado existe la necesidad de obtener diseños flexibles de edificaciones con espacios fácilmente modificables y que puedan ser utilizados para diversos propósitos por diferentes tipos de usuarios.

Según el WBDG Accessible Committee (2007) un diseño flexible debe incluir espacios que:

- Sean fácilmente modificables
- Sea útiles para múltiples usos y/o usuarios
- Puedan albergar futuras tecnologías
- Sean efectivamente económicos a lo largo del ciclo de vida

Por último, es necesario conocer que diversos estudios han demostrado que los costos adicionales de incorporar en las nuevas construcciones aquellos aspectos que producen una edificación flexible son significativamente menores a los costos de modificación de las construcciones existentes (WBDG Accessible Committee, 2007).

## 4.2.3 Seguridad

Las consideraciones de seguridad en el diseño pueden separarse en dos grupos, aquellas enfocadas a la etapa de construcción y aquellas enfocadas a la etapa de operación y mantenimiento. Sin embargo, generalmente las consideraciones para una etapa producen beneficios para la otra etapa.

#### 4.2.3.1 Seguridad para la construcción

La industria de la construcción posee el record más alto de accidentes en la gran mayoría de países y si bien existen nuevas tecnologías para mejorar la seguridad en las obras de construcción no se ha alcanzado aún un nivel tan bajo de accidentes como en el resto de las industrias.

Generalmente la seguridad en la construcción no es tomada en cuenta en el diseño y es común escuchar de los diseñadores que “el constructor es el responsable de construir el proyecto de una manera segura.” Sin embargo, algunos estudios han demostrado que un gran porcentaje de accidentes de construcción pudieron haber sido eliminados, reducidos o evitados mediante mejores decisiones durante las etapas de planeamiento y diseño (Hecker, 2005 citado por Mroszczyk, 2006). Entonces los diseñadores pueden producir importantes mejoras en la industria mediante sus decisiones.

El proceso formal de análisis de amenazas contra la seguridad en la construcción es denominado *Diseño para la seguridad* (Hagan citado por Mroszczyk, 2006). Este consiste en identificar las amenazas durante el diseño y eliminarlas si es posible, si no se deben incorporar elementos de protección para reducir estas amenazas. Si ninguna de estas acciones es posible se deberán dar las advertencias, instrucciones y estrategias para que no se produzca ningún daño. Para mejorar la seguridad en el diseño se debe incrementar la comunicación entre los diseñadores y el personal de obra (Coble y Haupt, 2000 citados por Gambatese, 2005b), estos últimos pueden hacer importantes contribuciones al diseño mediante sus habilidad, experiencia en obra y su conocimiento de construcción (Gambatese, 2005b).

Además de reducir las amenazas durante la construcción, diseñar para la seguridad produce otros beneficios como la reducción de costos de construcción y evitar que el plazo se vea alterado (Gambatese, 2005a).

#### 4.2.3.2 Seguridad para la operación y el mantenimiento

Los diseñadores deben identificar los peligros potenciales y proteger de estas mediante sus diseños a los ocupantes, recursos y a la estructura de la edificación, así como la continuación de la operación de ésta.

Los principales principios que deben ser considerados en el diseño son (WBDG Safe Comité, 2005):

- Protección contra incendios
- Asegurar la salud y bienestar de los ocupantes
- Resistencia a las amenazas naturales
- Proveer seguridad para los ocupantes y recursos de la edificación

Si en la edificación se van a desarrollar operaciones que involucren procesos complejos, sustancias dañinas o exista un riesgo potencial de daño; es necesario que aquellos que van a realizar estas operaciones participen en el proceso de diseño (Gray y Hughes, 2001).

Es importante notar que se debe alcanzar un equilibrio en el diseño para considerar los diferentes aspectos relativos a la seguridad en la edificación (WBDG Safe Comité, 2005). Por ejemplo, restringir el acceso para proteger a los ocupantes y recursos de la edificación de robos puede aumentar el tiempo de evacuación de los ocupantes durante un incendio. Entonces una evaluación rigurosa debe llevarse a cabo para producir la solución más completa.

#### 4.2.4 Fácil mantenimiento

Los tres factores más importantes que deben ser considerados durante el diseño para un mantenimiento adecuado y seguro son (Gray y Hughes, 2001):

- Acceso para las inspecciones
- Mantenimiento externo
- Mantenimiento de los servicios

El diseño debe permitir el acceso seguro para la inspección de los sistemas y componentes de la edificación que requieran mantenimiento. Además, es importante pensar en la manera como se realizará el mantenimiento para evitar molestar a los usuarios mientras este se realice.

Paralelamente al desarrollo del diseño se debe elaborar la documentación que formará parte del manual de mantenimiento de la edificación. La información de los materiales elegidos, así como de los componentes y sistemas que formarán parte de la edificación, debe ser recopilada y entregada al cliente para que su equipo de mantenimiento, propio o contratado, conozca la manera como debe

realizarse el mantenimiento, la frecuencia y otros requerimientos importantes. Esta recopilación de información debe continuar durante la etapa de construcción pues muchas veces se realizan algunos cambios en el lugar de la obra.

#### 4.2.5 Conservación del medio ambiente

Todos los proyectos de ingeniería producen un efecto en el medio ambiente, pero existen diferencias al respecto. Algunos efectos pueden ser positivos y otros nocivos (Vickridge, 2002); es decir, los efectos podrían clasificarse como beneficios o costos, respectivamente. En la mayoría de proyectos de edificaciones, directa e individualmente, el impacto en el medio ambiente no alcanza grandes magnitudes pero en proyectos más complejos podría ser necesario realizar un estudio de impacto ambiental. Este estudio consiste en la evaluación de los efectos, tanto positivos como negativos, de la manera más objetiva posible y la presentación de información que pueda ser utilizada para la toma de decisiones conjuntamente con otras herramientas de análisis (Vickridge, 2002).

Si bien individualmente el impacto en el medio ambiente de los proyectos de edificaciones no es de grandes magnitudes, en conjunto sí lo es. Además del impacto directo que producen las edificaciones, como por ejemplo la alteración del paisaje, existen otros efectos indirectos, como los que producen las empresas productoras de cemento u otros insumos para la industria de la construcción.

En lo que respecta al medio ambiente, las decisiones que se toman durante la etapa de diseño son las más importantes pues en esta etapa se eligen los sistemas, componentes y materiales que serán utilizados para la construcción y operación de la edificación.

Existen numerosos factores y criterios que deben ser considerados en el diseño para producir edificaciones que fomenten el desarrollo sostenible, reduciendo los impactos desfavorables y aumentando los favorables. A este estudio se adjunta un checklist que contiene las principales consideraciones al respecto y puede ser empleado de manera bastante útil para el diseño o las revisiones del diseño (Ver Anexo 01 – Checklist # 01: Medio Ambiente).

## 4.2.6 Constructabilidad

Numerosos autores y organizaciones proponen definiciones del término constructabilidad<sup>1</sup>; a continuación se mencionan dos; la primera propuesta por una organización de los Estados Unidos y la segunda, por una organización del Reino Unido:

El Construction Industry Institute (CII) define constructabilidad como *“el uso óptimo del conocimiento y experiencia en construcción en el planeamiento, en el diseño, en la contratación y en los trabajos de campo para conseguir los objetivos esperados”* (Jergeas y Van der Put, 2001).

La Construction Industry Research and Information Association (CIRIA) define constructabilidad como *“el grado en el cual el diseño de una edificación permite la simplicidad de construcción sujeto a los requerimientos de la edificación terminada”* (Crowther, 2002).

Es importante notar desde el inicio que los beneficios obtenidos de un análisis de constructabilidad serán para todos los interesados del proyecto y no sólo, como muchas veces se cree, para el constructor.

### 4.2.6.1 Principios de constructabilidad

El CII propone una lista de 17 principios de constructabilidad, los cuales se presentan en este estudio como un checklist para simplificar su aplicación en los proyectos (Ver Anexo 02 -- Checklist # 02: Constructabilidad). Jergeas y Van der Put (2001) agruparon estos principios en siete temas principales. Éstos se muestran en el Cuadro 4.2.

---

<sup>1</sup> El término Constructabilidad se deriva de Constructability, palabra en inglés utilizada en los Estados Unidos. En el Reino Unido se utiliza el término Buildability.

- Participación del personal de construcción en las etapas iniciales del proyecto
- Uso de cronogramas que tomen en cuenta la parte constructiva
- Modulación y prefabricación
- Estandarización
- Diseñar fomentando la eficiencia constructiva
- Aplicación de métodos constructivos innovadores
- Aplicación de tecnología avanzada

**Cuadro 4.2:** Principios de constructabilidad

Fuente: Jergeas y Van der Put. (2001)

Como indican Jergeas y Van der Put (2001), la mano de obra y los materiales son los principales factores que afectan el costo, tiempo y calidad de un proyecto de construcción. Por esta razón, la incorporación del conocimiento y la experiencia en construcción durante la etapa de diseño se hace indispensable para conseguir el uso más eficiente de los recursos.

La ubicación del proyecto es un factor importante que debe ser tomado en cuenta en el diseño (Ardite et al. 2002) ya que algunos problemas relacionados a este factor, según Arditi et al. (2002), son: la disponibilidad de materiales y mano de obra, las técnicas constructivas utilizadas en la región, la accesibilidad, las condiciones del terreno, el clima y la disponibilidad de elementos prefabricados o preensamblados.

#### 4.2.6.2 Herramientas y prácticas recomendadas

Arditi et al. (2002) mediante una encuesta realizada a las principales firmas de diseño en los Estados Unidos encontraron que son cinco las principales herramientas utilizadas para mejorar la constructabilidad de los diseños. Estas se muestran en el Cuadro 4.3 ordenadas de mayor a menor uso.

- Revisión visual
- Sistemas de retroalimentación
- Lluvia de ideas
- Modelos computacionales (Gráficos en 3D)
- Modelos físicos

**Cuadro 4.3:** Herramientas de constructabilidad

Fuente: Arditi *et al.* (2002)

Los planos, detalles y las especificaciones son los documentos necesarios para la construcción del proyecto. Una práctica recomendada por el Lean Construction Institute para obtener mejores detalles constructivos es obtener de los diseñadores esquemas de diseño y delegar el detallado a los contratistas especialistas (Howell, 2006). Como indican Gray y Hughes (2001), los especialistas pueden aplicar su experiencia en producción para el desarrollo de los detalles. Además, al ser incorporados tempranamente pueden ayudar a reducir el desperdicio de recursos mediante su aporte a la planificación de los trabajos en el sitio.

#### 4.2.6.3 Principales barreras y beneficios

Arditi *et al.* (2002) señalan que los mayores beneficios económicos se obtienen cuando las revisiones de constructabilidad se realizan durante la etapa de diseño; Gray y Hughes (2001) indican que la revisión debe hacerse lo más temprano posible, incluso como una contribución a la concepción del proyecto. Sin embargo, existen algunos problemas al respecto. Jergeas y Van der Put (2001) encontraron que una de las principales barreras para la incorporación de personal de construcción desde las etapas iniciales de un proyecto es la forma tradicional de contratación, con la cual la participación del constructor empieza luego de que el diseño y las especificaciones han sido desarrollados en su totalidad. Si bien una solución a este problema podría ser la inclusión de personal que conozca y tenga experiencia en construcción, Jergeas y Van der Put. (2001) señalan que los beneficios no serían iguales a los obtenidos con la participación del constructor real del proyecto, pues finalmente no son los responsables de la construcción. Según Thabet (1999), para mejorar la constructabilidad de un proyecto se debe estrechar, mediante la integración, el espacio vacío que existe entre el diseño y la construcción.

O'Connor y Miller, citados por Arditi *et al.* (2001), recomiendan incorporar a la mejora de la constructabilidad como parte de un proceso de mejora continua del proyecto. Según Jergeas y Van der Put (2001), para lograr el éxito en la implementación de un programa de mejora de constructabilidad es necesario crear una base de datos con ideas sobre constructabilidad. Es importante realizar un proceso de retroalimentación que evite que se cometan los mismos errores proyecto tras proyecto y que permita una mejora continua.

Los principales beneficios que se obtienen de aplicar la constructabilidad durante la etapa de diseño son (Rossi, 2006):

- Reducción del tiempo total de construcción
- Mejora en la calidad del proyecto
- Reducción de costos
- Creación de condiciones de trabajo más seguras durante la construcción

Por último, Crowther (2002) enfatiza la necesidad de considerar en el diseño lo que sucede con la edificación luego de cumplir la etapa de servicio, pues señala que el impacto negativo al medio ambiente producido por los desechos de demoliciones y de la construcción de nuevas edificaciones es substancial, y que podría evitarse o reducirse si se incrementara el uso de materiales y elementos reutilizables y reciclables en las edificaciones. Crowther (2002) hace hincapié en la necesidad de desarrollar conocimiento para obtener diseños que sean “fáciles de demoler”.

### 4.3 Referencias

1. Arditi, D.; Elhassan, A. & Toklu, Y. C. (2002) Constructability Analysis in the Design Firm. *Journal of Construction Engineering and Management*. Marzo - Abril. p. 117-126.
2. Cleary, M. (2002) Futureproofing Flexibility: Designing Tomorrow's Building Infrastructure Today. [Online] <http://www.buildings.com/Articles/detail.asp?ArticleID=927> (Sitio visitado en mayo del 2007).
3. Crowther, P. (2002) Design for buildability and the deconstruction consequences. [Online] <http://eprints.qut.edu.au/archive/00002885/01/Crowther-TG39-2002.PDF> (Sitio visitado en mayo del 2007).
4. Evans, R.; Haryott, R.; Haste, N. & Jones, A. (1998) The Long Term Costs of Owning and Using Buildings. The Royal Academy of Engineering.
5. Gambatese, J. (2005a) Improving Construction Safety through a Project's Design: The Impact of Design on Safety (Part 1 of 2) [Online] Means, Methods and Trends Magazine. Publicación del Architecture

- Engineering Institute and The Construction Institute of ASCE  
<http://www.mmtmagazine.org/page/index03ea.html?id=167> (Sitio visitado en abril del 2007).
6. Gambatese, J. (2005b) Improving Construction Safety Through a Project's Design: Implementing the Concept in Practice (Part 2) [Online] Means, Methods and Trends Magazine. Publicación del Architecture Engineering Institute and The Construction Institute of ASCE  
<http://www.mmtmagazine.org/page/index0741.html?id=180> (Sitio visitado en abril del 2007).
  7. Gray, C. & Hughes, W. (2001) Building Design Management. Butterworth Heinemann.
  8. Howell, G. Director del Lean Construction Institute. Conversación vía correo electrónico. Febrero del 2006.
  9. Jergeas, G. & Van der Put, J. (2001) Benefits of constructability on construction projects. Journal of Construction Engineering and Management. Julio – Agosto. p. 281-290.
  10. Kelly, J.; Male, S. & Graham, D. (2004) Value Management of Construction Projects. Blackwell Science.
  11. Lawson, B. (2006) How Designers Think: The design process demystified. Cuarta Edición, Architectural Press.
  12. Mroszczyk, J. (2006) Designing for construction worker safety [Online]  
<http://www.asse.org/membership/docs/John%20Mroszczyk%20Article.doc> (Sitio visitado en abril del 2007).
  13. Rossi, M. (2006) Nuevos horizontes en Construction Management: La gestión de la productividad y del riesgo. Seminario de especialización para la gestión de proyectos. Lima, Perú. Del 28 al 29 de abril del 2006.
  14. Thabet, W. (1999) Design/Construction Integration thru Virtual Construction for Improved Constructability. [Online] <http://www.ce.berkeley.edu/~tommelein/CEMworkshop/Thabet.pdf> (Sitio visitado en abril del 2007).
  15. Vickridge, I. (2002) Environmental Management. En: Smith, N. J. ed. Engineering Project Management. Segunda Edición, Blackwell Science. p. 58-85.
  16. WBDG Accessible Committee (2007) Plan for Flexibility: Be Proactive. [Online]  
[http://www.wbdg.org/design/plan\\_flexibility.php](http://www.wbdg.org/design/plan_flexibility.php) (Sitio visitado en mayo del 2007).
  17. WBDG Functional / Operational Committee (2007) Functional / Operational. [Online]  
[http://www.wbdg.org/design/func\\_oper.php](http://www.wbdg.org/design/func_oper.php) (Sitio visitado en abril del 2007).
  18. WBDG Safe Committee (2005) Secure/Safe [Online] [http://www.wbdg.org/design/secure\\_safe.php](http://www.wbdg.org/design/secure_safe.php) (Sitio visitado en abril del 2007).
  19. Winch, G. (2002) Managing Construction Projects: An information Processing Approach. Blackwell Science.

## GERENCIA DEL DISEÑO

---

“...la gerencia del proceso de diseño es identificada como una necesidad fundamental en los proyectos modernos y debe llevarse a cabo por aquellos individuos u organizaciones que tienen experiencia en, y entienden, el proceso integrado de diseño y construcción.”

*Colin Gray y Will Hughes  
Building Design Management  
Butterworth Heinemann, 2001*

En este capítulo se describen las principales técnicas y herramientas relacionadas a la gerencia del diseño. Se indican las principales pautas para la formación del equipo de diseño adecuado, se describen las principales técnicas y herramientas para el planeamiento y la programación de la etapa de diseño, el control del flujo de la información y de la realización de cambios y la solución de problemas y controversias.

### 5.1 Formación del equipo de diseño

#### 5.1.1 Contrataciones

Existen numerosas modalidades de contratación de los servicios de diseño; sin embargo, los más empleados son por *adjudicación directa*, también utilizado para contratar los servicios de la gerencia de proyectos, y por *concurso* (Winch, 2002). El primero se refiere a la elección directa de la firma de diseño basándose en la reputación y experiencia de los diseñadores; la segunda, se refiere a la competencia entre diferentes firmas donde generalmente el criterio de evaluación se basa en la calidad del diseño más que en el costo. Una de las ventajas de este último método de contratación es que brinda la oportunidad a nuevos diseñadores de participar en proyectos importantes (Winch, 2002). La elección de uno u otro método de contratación depende de la incertidumbre que se tiene en el proyecto y de los objetivos del cliente. Por ejemplo, cuando un cliente busca originalidad en el diseño, mediante la organización de un concurso se pueden observar alternativas muy diferentes pues cada una

depende de la inspiración y creatividad de cada diseñador. Cuando se tiene gran incertidumbre sobre el proyecto la contratación por adjudicación directa sería la más adecuada.

Existe un tercer método de contratación, llamado *capacidad interna* (Winch, 2002). Este tipo de contratación es utilizado por clientes que ejecutan gran cantidad de proyectos de construcción y consiste en la incorporación de diseñadores al staff de la compañía del cliente.

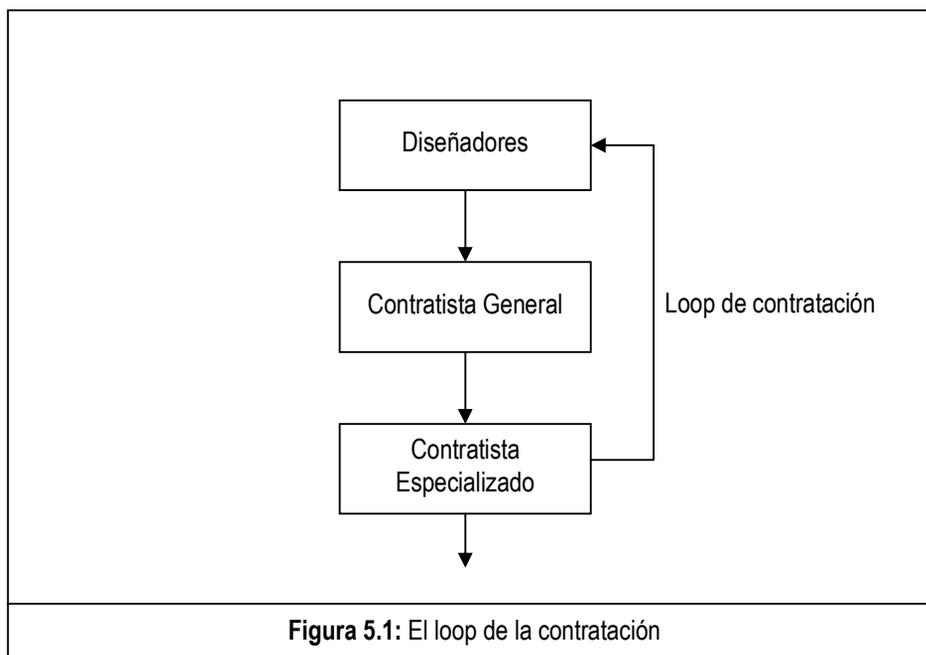
En los últimos años un nuevo método llamado *asociación* o *partnering* ha sido bastante empleado debido a los beneficios que presenta. Este método consiste en el acuerdo de por lo menos dos firmas para trabajar juntas en un grupo de proyectos. Esta práctica es bastante preferida por los clientes pues les permite trabajar con el mismo equipo de diseño en los proyectos (Winch, 2002). Según Winch (2002), esto permite alcanzar un mayor grado de confianza entre los involucrados; además, mediante el aprendizaje los problemas básicos de comunicación se resuelven debido a un mejor entendimiento de cómo solucionan los problemas las partes involucradas.

Respecto a los métodos de contratación de los contratistas especializados, los métodos mencionados líneas arriba son igualmente aplicables; sin embargo, el más empleado es el *concurso de licitación*. La elección del contratista especializado adecuado se basa en escoger a aquel que presente la propuesta con mayor valor para el cliente. Existen diferentes aspectos que deben ser tomados en cuenta, tales como el conocimiento, la experiencia y la tecnología. La elección del método adecuado como se mencionó anteriormente depende de la incertidumbre que existe sobre el proyecto y los objetivos del cliente. El momento indicado para contratar a los contratistas especialistas debe ser cuidadosamente planificado si se requiere que estos produzcan detalles constructivos y especificaciones para evitar retrasos en el proyecto.

#### 5.1.1.1 La interfase entre el diseño y la contratación

Anteriormente se explicó que delegar el trabajo del detallado a los contratistas especializados producía importantes ventajas en la calidad del diseño; sin embargo, en ciertas ocasiones existe un problema cuando se lleva a cabo esta práctica. Mitchell *et al.* (2004) se refieren a este problema como *el loop de la contratación* y para entenderlo es necesario analizar la interfase entre los diseñadores, el contratista general y los sub-contratistas especializados y la interfase que existe entre el diseño y la contratación. Es justo en esta interfase cuando la incorporación de los contratistas especializados en el proyecto debe realizarse, pero para realizar la contratación es necesaria la información producida por los diseñadores; sin embargo, en algunos casos esta no puede finalizar ya que los diseñadores requieren

de la información que los contratistas especializados deben producir. En la Figura 5.1 se muestra un esquema de este problema.



Fuente: Mitchell *et al.* (2004)

Si debido al tipo de contratación elegido para el proyecto se produjera este problema, se debe planear y controlar muy cuidadosamente la manera como se llevará a cabo la transferencia de la información entre los diseñadores y los contratistas especializados. Sin embargo, con la contratación por Administración o Gerencia de Proyectos el *loop de la contratación* no se produciría ya que no existiría un contratista general.

### 5.1.2 El equipo de diseño

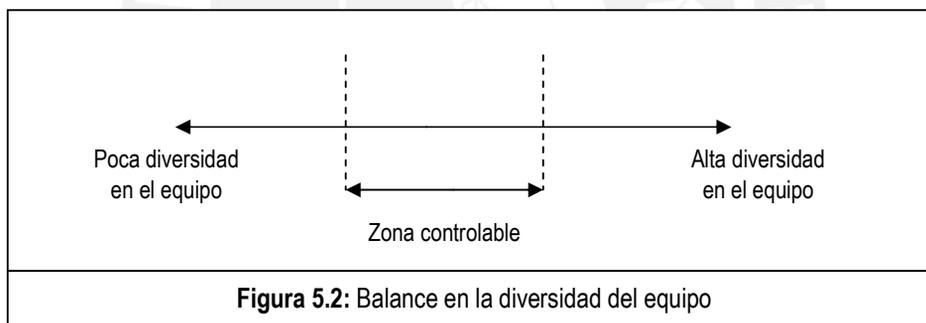
Bower (2002a) define *trabajar en equipo* como:

*“trabajar juntos para el mutuo beneficio de todos mediante el logro de objetivos comunes minimizando actividades no productivas y duplicación de esfuerzos”.*

Kelly et al. (2004) definen al *equipo de un proyecto de construcción* como:

*“un equipo formal temporal que reúne los conocimientos y habilidades de personas de diferentes profesiones y ocupaciones para identificar las tareas necesarias y solucionar los problemas en la realización del proyecto”.*

La idea principal en la formación del equipo de diseño es reclutar a profesionales de diferentes especialidades para que cada uno de ellos desarrolle una tarea específica con las cuales se consigan los objetivos del proyecto. Es importante formar un equipo heterogéneo pero no en forma exagerada pues se pueden originar conflictos debido al poco conocimiento en común en la realización de las tareas (Winch, 2002). El equipo debe ser balanceado, como se muestra en la Figura 5.2. En pequeños proyectos el equipo de diseño puede estar conformado por un diseñador de cada especialidad pero en proyectos más complejos puede existir la necesidad de que cada especialidad esté conformada a la vez por un equipo. En el último caso, es importante que las relaciones entre las diferentes organizaciones que conforman el equipo de diseño se den entre personas del mismo nivel.



Fuente: Winch (2002)

Bower (2002a) resalta la necesidad de definir claramente los roles y responsabilidades de los miembros del equipo para prevenir confusiones y malos entendidos. Además, es importante establecer los objetivos del equipo e incentivarlo mediante la responsabilidad compartida para que sus esfuerzos estén bien orientados (Winch, 2002).

Para la selección de las firmas o ingenieros individuales encargados del diseño son cuatro las principales aptitudes que deben ser tomadas en cuenta (Gray y Hughes, 2001):

- Experiencia en el diseño de proyectos similares
- Experiencia y conocimientos del personal destinado al proyecto

- Recursos organizacionales y sistemas de gerencia
- Recursos financieros y la capacidad para llevar a cabo el proyecto

## 5.2 Planeamiento y programación

El objetivo del planeamiento es persuadir a las personas de llevar a cabo las tareas, antes de que sean delegadas a otros grupos de personas, de tal manera que la secuencia propicia el uso óptimo de los recursos.

Especialmente durante la etapa de diseño el tiempo es un factor fundamental. Según Lawson (2006), *'el proceso de diseño raramente finaliza por sí mismo, en la mayoría de los casos debe finalizar en un periodo de tiempo definido.'* Mitchell et al. (2004) complementan esta idea diciendo que *'mayor cantidad de tiempo, o un mejor uso del tiempo disponible, producirá un mejor diseño.'* Entonces un buen planeamiento del proceso de diseño es fundamental para la obtención de buenos resultados.

Actualmente es común que no se desarrolle un programa para controlar el avance del proceso de diseño o si se elabora un programa este se produce empleando las mismas técnicas que se utilizan en las otras etapas del proyecto, generalmente en la de construcción. La etapa de diseño tiene características especiales y por ende merece un tratamiento singular. En las siguientes líneas se describirán estas características y luego se presentará y se describirá un método de planeamiento, programación y control que las toma en consideración.

### 5.2.1 Características especiales del proceso de diseño

Gray y Al-Bizri (2004), en una publicación donde critican los modelos propuestos para el planeamiento de la etapa de diseño, describen las características especiales del proceso de diseño, las cuales se indican en el Cuadro 5.1 y luego se desarrollan debido a su gran influencia en el planeamiento.

- |  |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un problema de diseño puede ser dividido en sub-problemas</li> <li>• Participa un grupo de expertos</li> <li>• Necesidad de transferencia de información entre diseñadores para la toma de decisiones</li> <li>• Naturaleza iterativa</li> <li>• Requiere de un proceso continuo de toma de decisiones</li> </ul> |
|--|

**Cuadro 5.1:** Características especiales del proceso de diseño

Fuente: Desarrollado de Gray y Al-Bizri (2004)

Las edificaciones están compuestas por sistemas y estos a su vez están compuestos por componentes. Esta subdivisión permite que los problemas de diseño se puedan dividir en sub-problemas. Lamentablemente esto no quiere decir, necesariamente, que el problema se haya simplificado, pues las soluciones de diferentes sub-problemas pueden verse afectadas entre sí mismas.

El diseño de las edificaciones requiere de la participación de diferentes especialistas, los cuales en conjunto deben encontrar las soluciones a los problemas de diseño. Esta tarea se dificulta debido al alto grado de especialización al cual se ha llegado, ya que se requiere la participación de un mayor número de especialistas. Además, en la gran mayoría de los casos cada uno de ellos pertenece a una organización distinta, hecho que dificulta aún más la coordinación.

Además de la información propia de la disciplina, el proceso de diseño requiere de un continuo intercambio de información entre los especialistas para solucionar los problemas. Este flujo de información es muy complejo y es necesario que se realice correctamente para que la información sea entregada de manera oportuna.

Las soluciones de los problemas de diseño generalmente no son determinadas definitivamente en un solo paso, sino que se desarrollan a lo largo de un proceso continuo de análisis y evaluación. Esto se debe al alto grado de dependencia entre las especialidades.

Por último, raramente las soluciones de los problemas de diseño pueden satisfacer todos los requerimientos de todos los involucrados. Las soluciones generalmente son evaluadas según el cumplimiento de las restricciones y aceptadas como correctas cuando satisfacen las más importantes.

## 5.2.2 Planeamiento del diseño con DePlan

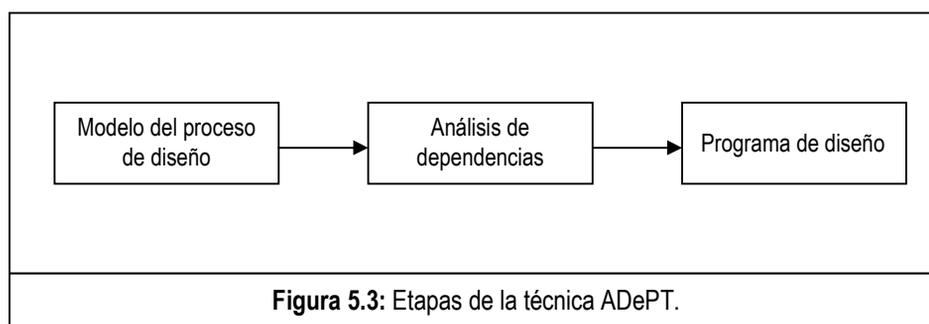
Luego de revisar las características especiales del proceso de diseño y las técnicas de planeamiento y programación disponibles se encontró que la técnica denominada DePlan, propuesta por Hammond *et al* (sin año), es la más adecuada y por lo tanto es la que será tratada en este estudio. Esta técnica es el resultado de la combinación de las metodologías ADePT (Analytical Design Planning Technique) y ProPlan, esta última pertenece a la filosofía del Last Planner. La primera se emplea inicialmente para identificar las relaciones que existen entre los diseñadores, analizar el flujo de la información entre

éstos y producir el programa del proceso de diseño. La metodología ProPlan se emplea posteriormente para el monitoreo del progreso.

En las siguientes líneas se explicará en detalle la metodología de la técnica.

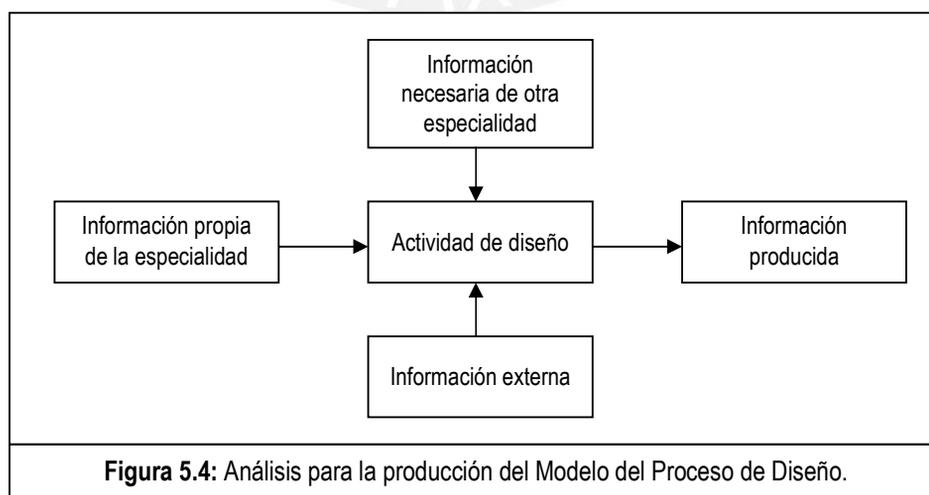
### 5.2.2.1 ADePT

Esta técnica está compuesta por tres etapas principales y se emplea mediante la aplicación de un software. En la Figura 5.3 se muestra un esquema de los principales pasos de la técnica.



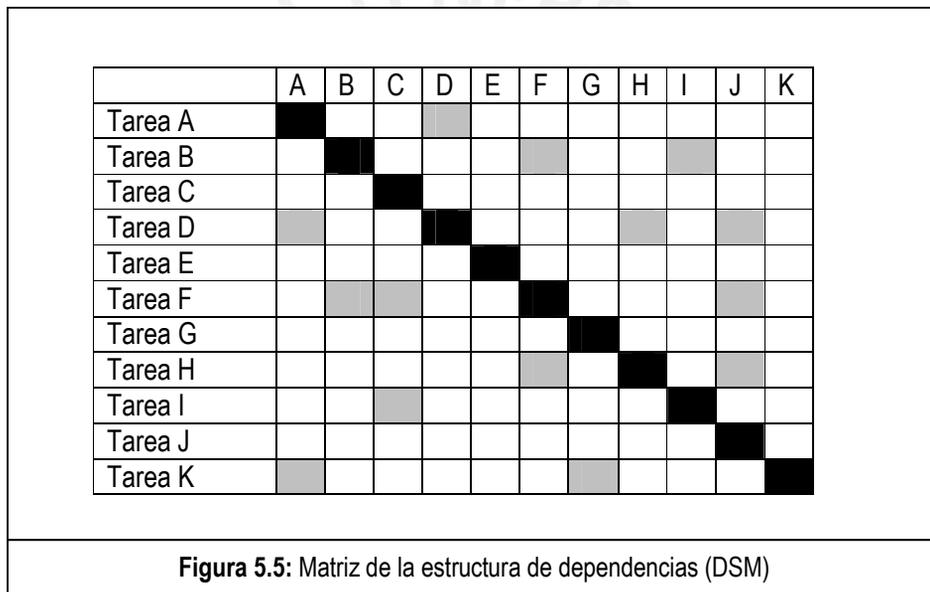
Fuente: Desarrollado de Hammond *et al.* (sin año)

La primera etapa consiste en la producción de un Modelo del Proceso de Diseño, en el cual se consideran las actividades de diseño y se analizan los requerimientos de información entre los involucrados. Ya que la principal actividad del proceso de diseño es procesar y comunicar información, el correcto planeamiento de este flujo de información producirá un proceso más eficiente (Gray y Al-Bizri, 2004). En la Figura 5.4 se muestra un esquema del análisis para la producción del modelo.



Fuente: Desarrollado de Hammond *et al.* (sin año)

La segunda etapa consiste en realizar un análisis de las dependencias que existen entre las actividades indicadas en el Modelo del Proceso de Diseño. Las actividades son organizadas en una lista por orden jerárquico según las dependencias existentes y luego esta información es organizada en la Matriz de la Estructura de Dependencias, DSM por sus siglas en inglés (Design Structure Matriz) (ADePT Management, 2006). Esta herramienta permite analizar las interdependencias entre las tareas de diseño de una manera bastante ordenada y simplificada. En la Figura 5.5 se muestra un esquema de la DSM. Las tareas de diseño se indican en la primera columna y el número o letra de cada tarea en la fila superior. Cuando existe interdependencia entre tareas aparece una marca en la intersección de estas. Este programa permite minimizar las interdependencias tras reorganizar las tareas con el objetivo de obtener un proceso tan eficiente como sea posible (ADePT Management, 2006).



Fuente: El Autor

Luego de haber analizado y comprendido las interdependencias entre las actividades se importa esta información a un software de programación de proyectos para la elaboración del programa (ADePT Management, 2006). El programa producido consiste en un gráfico de barras que representa la secuencia de realización y la duración de las actividades, similar a los empleados para la etapa de construcción. Es importante notar que debido a que la creatividad es un aspecto fundamental en el diseño, estimar el tiempo necesario para llevar a cabo las tareas de diseño es una tarea bastante difícil (Harpum, 2002).

En el programa es necesario establecer hitos que determinen la aprobación de la información producida por el equipo de diseño para evitar cambios en las etapas posteriores y asegurar que las

necesidades son satisfechas adecuadamente. Es importante que todas las partes involucradas comprendan que cambios posteriores incrementarán el costo y el tiempo necesario para la realización del proyecto. Durante la etapa de diseño los hitos principales son las aprobaciones del esquema y de los detalles de diseño; sin embargo, el primero es el más importante pues tras la confirmación de que el esquema de diseño satisface adecuadamente las necesidades del cliente la incertidumbre en el proyecto se reduce cuantiosamente. Es necesario que el programa producido sea claro y esté bien definido; sin embargo, esto no debe confundirse con la producción de un programa rígido. En la industria de la construcción el cambio es siempre una constante y los sistemas de gerencia deben estar preparados para incorporar satisfactoriamente los cambios que deban ser incorporados en el proyecto. Según Tilley (2005), un gerente de proyectos que se adhiere a un plan rígido puede perder oportunidades para conseguir los objetivos del proyecto a través de definiciones de actividades y programas flexibles. Tilley (2005) completa la idea diciendo que debido a la naturaleza iterativa del proceso de diseño es necesario que la flexibilidad sea parte integral del proceso de gerencia.

Es importante especificar en el programa el tiempo necesario de los procesos de aprobación de las agencias reguladoras, pues estos son necesarios para continuar con el desarrollo de las siguientes etapas del proyecto (Greenwood, 2002). Además, es necesario que los documentos entregados estén compatibilizados pues pueden generar problemas en revisiones posteriores que podrían producir retrasos.

La técnica ADePT proporciona las siguientes ventajas en el planeamiento de la etapa de diseño (ADePT Management, 2006):

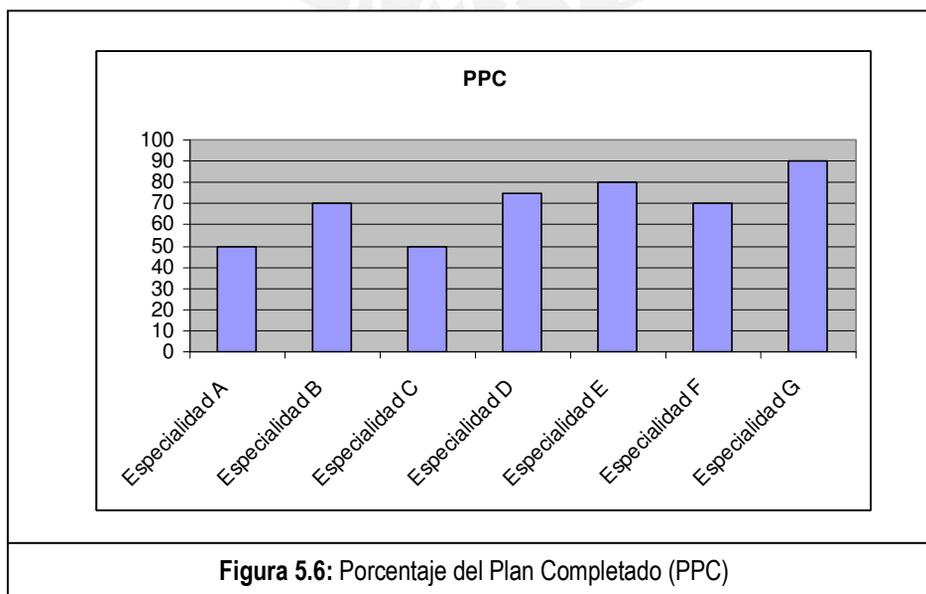
- Permite la optimización de procesos y no sólo de tareas independientes
- Minimiza la ineficiencia mediante la maximización de la coordinación basada en el flujo de la información
- Minimiza el trabajo improductivo
- Se producen programas más cortos y predecibles, aumentando la competitividad tanto en costos de diseño como de construcción

### 5.2.2.2 PROPLAN

Esta técnica forma parte de un concepto denominado Last Planner desarrollado por investigadores del Lean Construction Institute y se utiliza para una programación más detallada de las tareas y el control del avance.

El primer paso consiste en agrupar las actividades indicadas en el programa por especialidades definiendo de manera clara las restricciones de cada una de ellas. Luego, cuando las restricciones de una actividad son satisfechas o están próximas a ser satisfechas estas se programan en el plan semanal para que sean ejecutadas. Se utilizan dos tipos de programas en esta técnica; el primero es el programa semanal en el cual se detallan las actividades que pueden ser ejecutadas y el segundo es el *lookahead* que sirve como nexo entre el programa general del proyecto y el plan de trabajo semanal. Este último permite al planeador prever qué información debe ser producida en los próximos días para que las siguientes actividades puedan ser ejecutadas a tiempo.

Al finalizar cada semana se calculan los porcentajes de las actividades ejecutadas por cada especialidad y se elabora un gráfico denominado Porcentaje del Plan Completado (PPC por sus siglas en inglés). El PPC es un gráfico de barras en el cual se indica la cantidad de trabajo programado semanalmente que ha sido ejecutado por cada especialidad (Ver Figura 5.6). Cuando una especialidad este por debajo del cien por ciento se deben identificar todos los problemas que evitaron que las actividades pudieran ser llevadas a cabo según lo programado como método de aprendizaje para evitar que los mismos problemas ocurran en proyectos futuros. Es importante que este gráfico sea enviado a los proyectistas para que conozcan el estado de avance de su especialidad.

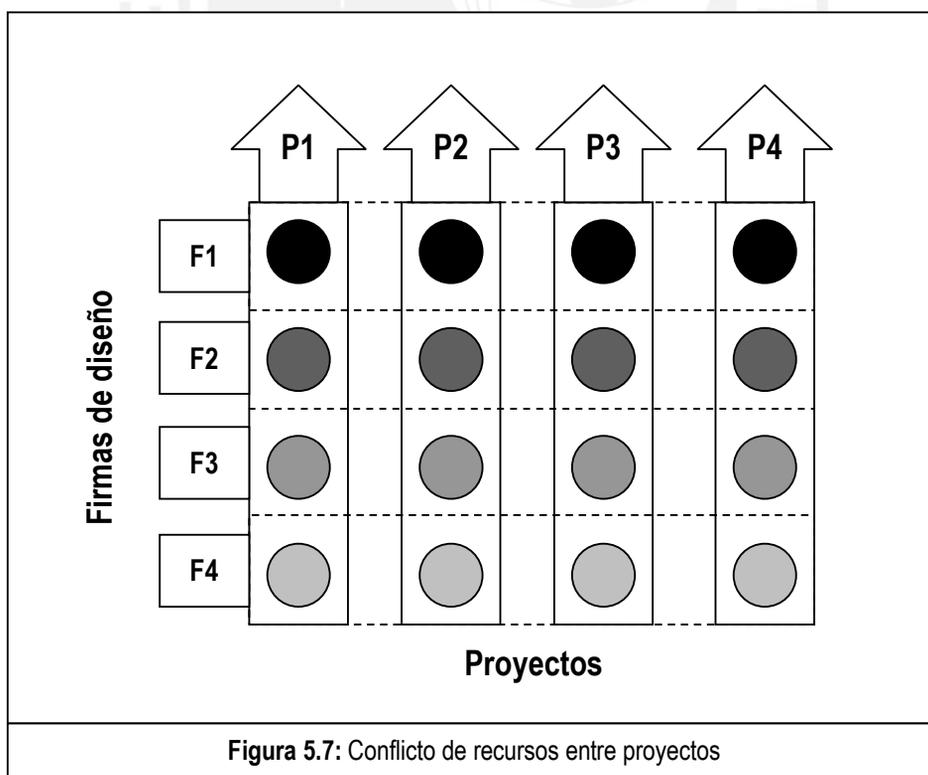


Fuente: El Autor

### 5.2.3 Conflicto de recursos

Según Bower (2002a) los proyectos rara vez son llevados a cabo aisladamente. Como se mencionó en el Capítulo 2, los proyectos son temporales y requieren la inversión de recursos humanos, materiales y financieros. Los proyectos dependen totalmente de los recursos que invierten los clientes y las firmas de la industria de la construcción para existir (Winch, 2002). Probablemente los proyectos compartan recursos de diseño, debido a la ventaja potencial de compartir conocimiento, pero esto propicia que un proyecto compita con otros para el uso de estos recursos (Bower, 2002a). El problema radica en que un proyecto depende de numerosas firmas y cada una de estas puede estar trabajando en diferentes proyectos al mismo tiempo. Bower (2002a) indica que en las organizaciones de los clientes pueden existir conflictos en el uso de los recursos para cumplir las necesidades competitivas de un número de proyectos y cada promotor puede tener problemas en cumplir la secuencia de actividades adecuada según sus intereses.

La situación descrita anteriormente se representa en la Figura 5.7. En esta gráfica se observan distintas firmas de la industria de la construcción (vertical) que participan en diferentes proyectos (horizontal) al mismo tiempo.



Fuente: Adaptado de Winch (2002)

Es importante notar que la capacidad de invertir recursos es conocimiento interno de cada firma y cumplir con los compromisos adquiridos depende de la honestidad de cada firma para tomar los trabajos que estén dentro de su capacidad. Winch (2002) se refiere a este problema como *peligro moral* con el cual el cliente se cuestiona si la firma contratada empleará sus recursos para el beneficio del cliente y no para el beneficio propio o de otro cliente.

### 5.3 Flujo de la información

Los dos principales factores en relación a la producción de la información del proyecto que recaen en la responsabilidad de la gerencia del diseño son:

- La oportuna provisión de la información (Gray y Hughes, 2001)
- Permitir la *interoperabilidad*<sup>1</sup> de las diferentes partes para lograr una buena implementación del sistema de gerencia de la información del proyecto (Winch, 2002)

La producción de la información exacta, coordinada y completa es responsabilidad del equipo de diseño (Gray y Hughes, 2001) y el desarrollo y el uso de la información es responsabilidad de las firmas encargadas de los trabajos de diseño y los de construcción (Winch, 2002).

El diseño requiere del aporte de diferentes especialistas ya que cada uno de ellos desarrolla una parte específica del diseño. La responsabilidad de coordinar la información producida por los diseñadores de las diferentes especialidades debe ser definida antes de que la producción empiece. El responsable puede ser el arquitecto, quien en muchas ocasiones es el líder del equipo de diseño, o puede ser la gerencia de diseño, si tiene recursos suficientes para esta labor.

Debido a la participación de un mayor número de especialistas es durante la etapa del detallado que el control debe ser más minucioso y cuidadoso. La información que ellos desarrollen debe ser revisada y coordinada con la información producida por el resto de especialistas antes de ser enviada para la fabricación de los componentes o sistemas.

---

<sup>1</sup> El término *interoperabilidad* se refiere al problema que se presenta cuando las firmas que conforman el equipo del proyecto utilizan diferentes sistemas para producir o procesar la información y cuando ocurren transferencias la información no puede ser utilizada por la firma receptora (Winch, 2002).

La información debe ser agrupada y clasificada para que pueda ser utilizada para la construcción. Es importante que se asegure que la información está completa y coordinada antes de empleada para la producción y trabajos en el sitio.

Es necesario llevar un control exhaustivo del flujo de la información. Para esto se debe elaborar un programa donde se indique la información que debe producir cada especialista o involucrado y la información que debe transferir al resto del equipo. La información es dividida en paquetes de documentos e información que debe ser transferida entre los involucrados (Gray y Hughes, 2001).

Asegurar que toda la información requerida y producida por los diseñadores es entregada a tiempo es labor del planificador, mientras que evaluar la calidad de la información producida es tarea del receptor de la información (Gray y Hughes, 2001).

El Lean Construction Institute (Ballard y Zabelle, 2000) recomienda dividir los productos de diseño en pequeñas cantidades y transferirlos frecuentemente a los otros especialistas de manera que permitan realizar otro trabajo de diseño. Según el LCI esta práctica permite acelerar el proceso de diseño, pero indican que es necesario que los especialistas aprendan a compartir información incompleta sin perjudicar a los otros especialistas. Por ejemplo, comúnmente el arquitecto comparte su diseño con los otros especialistas cuando ha desarrollado los planos con bastantes detalles. Esto restringe las posibilidades de los otros especialistas porque deben adecuar sus diseños a lo ya desarrollado y los cambios que se deben hacer son complicados debido al nivel de detalle alcanzado por el arquitecto. Una práctica que produce mejores resultados es compartir información esquemática que permita a los otros diseñadores tener más alternativas para sus diseños y los cambios que se deban realizar serán más simples.

Delegar el trabajo del detallado a los contratistas especialistas hace necesario incorporarlos durante la etapa de diseño y por ende en el planeamiento y la programación. El intercambio de información entre los contratistas especialistas y los diseñadores debe ser incluido en la red de trabajo de diseño (Gray y Hughes, 2001). Como Anexo 03 a esta tesis se presenta un documento de control puede ser de bastante ayuda. Este contiene la información que requiere y debe producir cada contratista especialista, así como la fecha de entrega. Adicionalmente, un diagrama de barras con los eventos generales del proyecto se incluye como referencia.

### 5.3.1 Extranet

El empleo del correo electrónico como herramienta para la transferencia de información ha sido una práctica bastante común en los últimos años. Si bien esta herramienta ha facilitado la tarea a los diseñadores, siguen existiendo algunos problemas; trabajar con información desactualizada, no es posible observar el avance total del proyecto y confusión por la existencia de muchas fuentes de información de diversos proyectos son algunos de ellos. Una práctica que va en aumento, principalmente en el extranjero, es el empleo de una extranet que sirve principalmente para coordinar actividades relacionadas al proyecto y transferir y almacenar información en un solo lugar, al cual tengan acceso los involucrados en el proceso de diseño desde cualquier lugar donde se encuentren.

Las principales ventajas del uso de una extranet son (Winch, 2002):

- Evaluación del proyecto en el sitio utilizando cámaras web y fotos digitales
- Revisión de la información del proyecto
- Revisión de los dibujos producidos
- Clasificación y monitoreo del estado de los pedidos de información
- Control y monitoreo de la correspondencia (particularmente correos electrónicos)
- Clasificación y monitoreo de las ordenes de cambio
- Envío e impresión de dibujos
- Puede publicarse una pagina web para hacer el proyecto público

## 5.4 Coordinación de la información

Frecuentemente durante la etapa de construcción surgen numerosos problemas debido a las incompatibilidades que existen entre los planos de las diferentes especialidades del proyecto. Estas incompatibilidades se generan principalmente debido a la falta de actualización de los planos de ciertas especialidades cuando se producen cambios en los planos de otras especialidades de los cuales las primeras dependen. Como indica Haymaker *et al.* (2003), el diseño es un proceso iterativo en el cual los proyectistas realizan cambios en sus disciplinas sin integrar regularmente estos cambios a las disciplinas dependientes.

En la práctica actual es poco usual que se lleven a cabo ejercicios de compatibilización a lo largo del desarrollo del diseño. La práctica más común consiste en compatibilizar los planos de las diferentes

especialidades, cuando el diseño está bastante desarrollado o a veces cuando este ya está terminado, mientras se realiza el metrado de los materiales para la elaboración del presupuesto. Esta práctica no produce buenos resultados. La cantidad de información que debe ser compatibilizada es tanta que muchos errores de los planos no son detectados; además, debido al poco tiempo disponible para este ejercicio es común que los `metradores` asuman cierta información faltante sin informar a los especialistas sobre estas deficiencias.

La coordinación del diseño puede minimizar la incertidumbre en el proyecto mediante la disminución de conflictos (Riley y Horman, sin año). La producción de información coordinada para la construcción evita la inversión extra de tiempo, dinero y mano de obra; recursos que finalmente serían pagados por el cliente sin ser este el culpable del problema.

Existen diferentes opiniones sobre quién debería ser el responsable de la coordinación de la información. Algunos autores sugieren que deberían ser los arquitectos, ya que generalmente estos son los líderes del equipo de diseño; otros en cambio, creen que debería ser la gerencia del diseño. Es importante definir al responsable de la compatibilización de la información desde el inicio del diseño para evitar conflictos en las etapas posteriores.

#### **5.4.1 Métodos de compatibilización**

Es vasta la literatura que sustenta la necesidad de coordinar la información de diseño; sin embargo, existe muy poca información existente sobre los métodos de compatibilización. En este estudio se expondrán dos métodos de coordinación cuya aplicación en un proyecto dependerá de la complejidad del mismo.

##### **5.4.1.1 Base de datos**

Este método es bastante simple y puede ser utilizado en proyectos poco complejos. Consiste en crear un registro ordenado de las incompatibilidades encontradas en los proyectos realizados y luego utilizar este registro como una herramienta de revisión en los proyectos futuros. Para producir una base de datos adecuada es necesario que se realice un seguimiento durante todas las etapas de desarrollo de un proyecto.

Si bien este método es bastante simple, presenta varias desventajas. Una de ellas es que la calidad de la base de datos depende del número de proyectos realizados. Otra deficiencia es que si bien es cierto

que muchas de las descoordinaciones encontradas en los planos se repiten frecuentemente en los proyectos de edificaciones existen muchas otras que no son fácilmente identificables empleando únicamente un checklist. Por ejemplo, un problema fácilmente identificable utilizando una lista de verificación es el requerimiento de ductos en los elementos estructurales para el pase de las instalaciones de aire acondicionado, ya que este problema es muy común en los proyectos. Sin embargo, existen otros problemas más específicos como puede ser que el ingeniero estructural no haya tomado en cuenta en su diseño la presencia de una puerta en una placa de concreto armado. Definir el nivel de detalle de los problemas registrados puede ser otro problema, ya que se pueden producir registros tan extensos que su empleo en las revisiones podría volverse muy engorroso.

#### 5.4.1.2 Modelos en 3D

Actualmente existen numerosos programas para la elaboración de modelos en 3D y hasta en 4D que facilitan la coordinación de la información producida por los diferentes especialistas. Estos modelos permiten a los diseñadores observar de una manera más clara las incompatibilidades (Riley y Horman, sin año); además, permiten visualizar y analizar la secuencia constructiva.

Este método de compatibilización permite integrar de una manera más efectiva toda la información producida por los diseñadores pues elaborar el modelo es construir virtualmente lo diseñado. Es importante que el modelo sea producido desde el inicio y que la información vaya siendo incorporada en él a medida que vaya siendo producida, de esta manera la elaboración será muy simple y las incompatibilidades encontradas podrán ser corregidas a tiempo. La elaboración de estos modelos se vuelve complicada si se espera a tener toda la información completa para producir el modelo.

Es vasta la investigación que prueba la mejora en la coordinación de la información mediante el uso de modelos en 3D y su aplicación está bastante extendida en lugares como los Estados Unidos y el Reino Unido produciendo importantes beneficios para la industria de la construcción.

A este estudio se anexa un formato de registro de incompatibilidades (Ver Anexo 04), el cual luego de ser completado puede ser enviado a los especialistas para que conozcan las descoordinaciones de los planos y especificaciones y corrijan estos documentos.

## 5.5 Control de los cambios

Anteriormente se mencionó que es necesario establecer hitos en el programa en los cuales se confirma que todas las partes involucradas están de acuerdo con el diseño producido y que el proceso de diseño puede continuar. Si bien esta práctica minimiza la cantidad de cambios a realizar en etapas posteriores no los evita totalmente. Durante el avance del proyecto se pueden producir cambios en las necesidades del cliente o de los usuarios, cambios en la legislación o algún otro tipo de problema que no pudo ser considerado en las etapas tempranas y que producen forzosamente cambios en el diseño.

Es importante que la gerencia de diseño desarrolle un programa formal para el control de los cambios que puedan producirse. El programa, el presupuesto y demás documentos producidos servirán como marco de referencia para la identificación del cambio y para la medición de su impacto. Existe una regla práctica para la consideración del impacto económico que pueden generar los cambios en un proyecto de construcción, la cual es denominada '1/10/100' (Crosby, 1979 citado por Tilley, 2005). Esta regla nos dice que un cambio hecho durante la etapa de concepción tendrá un costo de 1, si se realiza este mismo cambio durante la etapa de diseño costará como 10 y si este cambio se realiza durante la etapa de construcción costará como 100. Tilley (2005) extiende esta idea y dice que si este cambio se realizara durante la etapa de operación de la edificación costaría como 1000. Esta regla práctica bastante simple debe ser explicada a los involucrados en el proyecto para que entiendan el fuerte impacto que los cambios pueden producir en los proyectos.

Al producirse un cambio, este debe ser identificado claramente y se debe identificar el motivo por el cual se realiza, luego se deben tomar las acciones correctivas según los siguientes pasos (Kelly *et al.* (2004):

- Medir las consecuencias del cambio en el tiempo, calidad y costo.
- Revisar la posibilidad de generar o incrementar riesgos.
- Determinar soluciones alternativas al cambio (si se pudiera).
- Generar alternativas que reduzcan el impacto contra las necesidades del cliente.
- Registrar el cambio.

Es importante que el efecto de cualquier cambio sea entendido y aceptado por el cliente (Gray y Hughes, 2001). Un adecuado programa de control de cambios nos permitirá aprender de los errores y evitar problemas en proyectos futuros. Por ejemplo, en relación al costo nos permitirá conocer cuales

son los factores del diseño que tienen más incidencia en el presupuesto y con ello podremos evitar complicaciones en proyectos futuros asegurándonos que aquellos factores estén mejor definidos y no necesiten modificaciones.

A esta tesis se adjunta un formato de registro de cambios (Ver Anexo 05) que permite almacenar de manera ordenada los cambios que puedan producirse en el proyecto y registrar los efectos relacionados a dichos cambios.

## 5.6 Solución de problemas y controversias

Tres métodos para tratar conflictos fueron identificados por Lawrence y Lorsch (Gray y Hughes, 2001):

1. Confrontación – discusión y elección de una solución entre las propuestas
2. Evasión
3. Obligación – uso de poder

Según Lawrence y Lorsch (Gray y Hughes, 2001) el método que produce una mejor integración en las organizaciones es la confrontación. Es importante notar que la existencia de una controversia no quiere decir necesariamente la existencia de una disputa (Gray y Hughes, 2001). La idea central es conocer los diferentes puntos de vista y escoger la solución adecuada en conjunto para cumplir los objetivos del proyecto. Pascale (1990) citado por Gray y Hughes (2001), afirma que los conflictos son una gran fuente de dinamismo y creatividad en las organizaciones.

## 5.7 Referencias

1. ADePT Management (2006) Process improvement – AdePT An overview. [Online] [http://www.adeptmanagement.com/pubs/adept\\_management\\_process\\_improvement\\_case\\_study.pdf](http://www.adeptmanagement.com/pubs/adept_management_process_improvement_case_study.pdf)
2. Ballard, G. & Zabelle, T. (2000) Lean Design: Process, Tools & Techniques. White Paper # 10, Lean Construction Institute (Disponible en: <http://www.leanconstruction.org>).
3. Bower, D. (2002a) Projects and Project Management. En: Smith, N.J. ed. Engineering Project Management. Segunda Edición, Blackwell Science. p. 1-15.
4. Bower, D. (2002b) Team-Based Supply Chains and Partnering. En: Smith, N.J. ed. Engineering Project Management. Segunda Edición, Blackwell Science. p. 290-306.
5. Free CPD (2004) Specialist contractors design. (Disponible en: <http://www.freecpd.co.uk/>)

6. Gray, C. & Al-Bizri, S. (2004) Modelling for planning building design – A critique of available approaches. Conferencia internacional de investigación en construcción del Royal Institution of Chartered Surveyors. Leeds, Reino Unido. Del 7 al 8 de setiembre del 2004.
7. Gray, C. & Hughes, W. (2001) Building Design Management. Butterworth Heinemann.
8. Greenwood, M. (2002) The Management of a Project. En: Kelly, J.; Morledge, R. & Wilkinson, S. eds. Best Value in Construction. Blackwell Science & RICS Foundation. p. 222-239.
9. Hammond, J.; Jeong, H.; Austin, S.; Tommelein, I. & Ballard, G. (sin año) Integrating design planning, scheduling, and control with Deplan. (Disponible en: <http://www.leanconstruction.org/pdf/20.pdf>)
10. Harpum, P. (2002) Design Management. En: Smith, N.J. ed. Engineering Project Management. Segunda Edición, Blackwell Science. p. 238-263.
11. Haymaker, J.; Suter, B.; Kunz, J. & Fischer, M. (2003) Automating the construction and coordination of multidisciplinary 3D design representations. Center for Integrated Facility Engineering. Technical report # 145. Stanford University.
12. Kelly, J.; Male, S. & Graham, D. (2004) Value Management of Construction Projects. Blackwell Science.
13. Lawson, B. (2006) How Designers Think: The design process demystified. Cuarta Edición, Architectural Press.
14. Mitchell, A.; Canter, M. & Hoxley, M. (2004) Plannig the detailed design stage of construction projects and the interface with procurement. Conferencia internacional de investigación en construcción del Royal Institution of Chartered Surveyors. Leeds, Reino Unido. Del 7 al 8 de setiembre del 2004.
15. Riley, D. & Horman, M. (sin año) The effects of design coordination on Project uncertainty. (Disponible en: <http://cic.vtt.fi/lean/singapore/Riley&HormanFinal.pdf>)
16. Tilley, P. (2005) Design and documentation quality problems – A lean thinking opportunity. Conferencia internacional de la semana de la investigación en The Queensland University of Technology. Brisbane, Australia. Del 4 al 8 de julio del 2005.
17. Winch, G. (2002) Managing Construction Projects: An information Processing Approach. Blackwell Science.

## DISEÑAR AL COSTO E INGENIERÍA DEL VALOR

---

“Tradicionalmente, en los proyectos de construcción el costo ha sido administrado de la misma manera en la que el tiempo ha sido administrado. Ambos han sido consecuencias del proceso y del producto del diseño, en lugar de servir como criterios para diseños aceptables...El Costo objetivo (Diseño al costo) es una práctica de gerencia que busca que el costo sea un conductor del diseño, por lo tanto reducir los desperdicios e incrementar el valor.”

*Glenn Ballard*

*Target cost in construction*

*1st International Construction Specialty Conference, Canadá, 2006*

“El proceso de Ingeniería del Valor identifica oportunidades para reducir costos innecesarios y asegurar que la calidad, confiabilidad, desempeño, y otros factores críticos cumplan o excedan las expectativas del cliente. Las mejoras son el resultado de recomendaciones hechas por equipos multidisciplinarios que representan a todas las partes involucradas.”

*Alphonse Dell'Isola*

*Value Engineering: Practical Applications for Design,  
Construction, Maintenance and Operations*

*RSMears, 1997*

En este capítulo se tratarán dos metodologías, complementarias entre sí, para la gerencia del costo y de la calidad en un proyecto de construcción. Estas metodologías son Diseñar al costo (Design to cost) e Ingeniería del Valor (Value Engineering).

### 6.1 Diseñar al costo

Si bien esta tesis trata sobre la gerencia del diseño, y no sobre la gerencia del costo, se explicará una metodología para la gerencia del costo de un proyecto de construcción pues los diseñadores también pertenecen al equipo encargado del control del costo del proyecto y es necesario que entiendan como este es manejado.

En la práctica tradicional el costo es una consecuencia del diseño. Cuando el diseño ha sido suficientemente desarrollado se calcula el costo aproximado del proyecto y si este supera la cantidad

de dinero que el cliente puede pagar se realizan ajustes al diseño, nuevamente se calcula el costo aproximado del proyecto y si es necesario se realizan más cambios en el diseño hasta obtener un costo que pueda ser asumido por el cliente. Esta práctica produce pérdidas, tanto de tiempo como de dinero. Además, el valor (calidad) del diseño se reduce gradualmente tras los sucesivos cambios hechos en el diseño para reducir costos.

Diseñar al costo (*Design to cost*) es una técnica empleada principalmente en la industria de la manufactura que consiste en fijar un *costo objetivo* para el producto a ser desarrollado y luego diseñar sin superar este costo. Es decir, el costo es un parámetro de diseño y no una consecuencia de él.

La aplicación de esta técnica en la industria de la construcción ha sido estudiada principalmente por Glenn Ballard (2004, 2006a y 2006b), uno de los directores del Lean Construction Institute (LCI) y los artículos publicados por él son la principal fuente de información empleada para el desarrollo de este acápite, excepto en partes específicas del texto donde se citen a otros autores.

### **6.1.1 Metodología**

La metodología que se expone a continuación esta basada en la propuesta desarrollada por Glenn Ballard, pero aún debe ser comprobada y mejorada para que produzca óptimos resultados.

#### **6.1.1.1 Determinación del Costo Objetivo**

El primer paso consiste en establecer el *Costo objetivo* del proyecto. Generalmente este costo viene dado por una mínima tasa interna de retorno establecida por el cliente o por un fondo máximo disponible. Luego, se debe realizar un estudio de factibilidad para conocer si es posible o no conseguir lo requerido por el cliente. Es importante conocer en orden de importancia los requerimientos y deseos del cliente para poder realizar, si es necesario, las modificaciones en el diseño sin reducir de manera importante el valor que el cliente pueda recibir del proyecto. Si el resultado del estudio de factibilidad es positivo se procede con el desarrollo del diseño.

#### **6.1.1.2 Diseño al costo**

Se deben identificar los principales elementos que formarán parte de la edificación y distribuir el monto total de dinero disponible entre todos estos elementos. En esta etapa es recomendable que aquellos que distribuyan los costos y los diseñadores trabajen muy cerca para que estos últimos conozcan las implicancias en los costos asumidos para evitar que ocurran problemas por definiciones vagas o asunciones incorrectas. Además, es importante establecer hitos para las revisiones de los costos y

aprobaciones del cliente Según Crow (2000), los clientes usualmente adquieren productos con funciones y características que exceden sus necesidades y se preguntan cuánto dinero es desperdiciado en estas capacidades innecesarias. En esta etapa la participación de los contratistas especializados es importante pues pueden ayudar a los diseñadores a obtener mejores estimaciones de las alternativas de diseño (Gil *et al.*, 2000). La manera más ordenada de llevar a cabo el control de los costos es elaborando un modelo de costos para el proyecto. Este modelo se define como *“una expresión de la distribución de los costos asociados a un proyecto específico, sistema o elemento”* (Dell’Isola, 1997). A esta tesis se adjunta un ejemplo de modelo de costos (Ver Anexo 06). El modelo está estructurado según los elementos de la edificación agrupados por especialidades, de esta manera se pueden controlar los costos específicos y ver su incidencia en el costo de la especialidad a la que pertenecen y además la incidencia de cada especialidad en el costo total. El recuadro de cada elemento está compuesto por tres ítems; el primero, corresponde al nombre del elemento; el segundo, al costo objetivo y el tercero, al costo estimado (“real”). Los modelos de costos para edificaciones comúnmente utilizados en el extranjero están organizados según los sistemas de clasificación UNIFORMAT o el del Building Cost Information Service del Reino Unido (BCIS). Los costos pueden expresarse en cantidades totales o costos por m<sup>2</sup>.

Si el costo objetivo es menor al estimado se deben realizar cambios en el diseño sacrificando los requerimientos menos importantes del cliente para reducir el costo en exceso, si el costo objetivo es mayor al estimado el diseño cumpliría con las restricciones económicas del proyecto. Es necesario acordar de antemano cómo se invertirá el dinero en caso el costo real sea menor al objetivo. En la realidad rara vez los costos objetivo y estimado son exactamente iguales, en la práctica el dinero “faltante” en alguna especialidad será cubierto por el dinero “sobrante” en otra, para esto es necesario llevar a cabo un trabajo bastante coordinado entre los diferentes especialistas. La idea es gastar todos los recursos disponibles para que el cliente obtenga el mayor valor del proyecto.

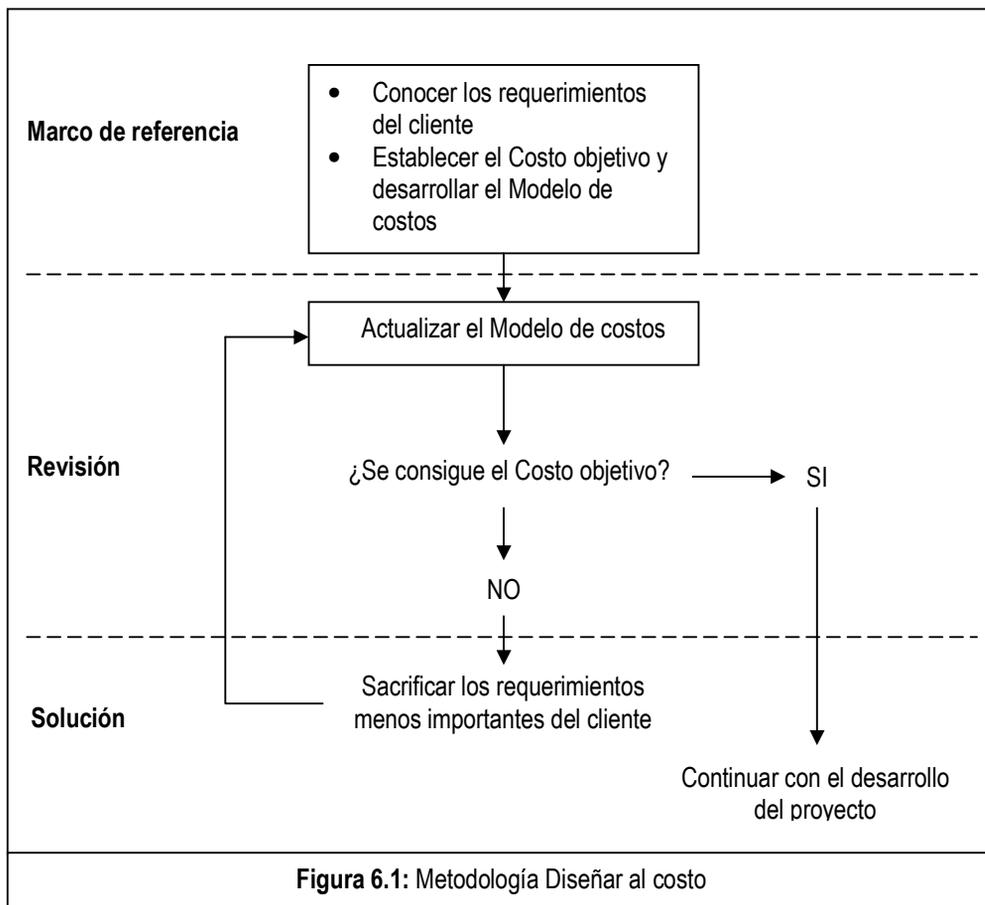
Crow (2000) resalta la necesidad de que el equipo encargado del desarrollo del diseño revise y entienda claramente los costos objetivos y asunciones detrás de los presupuestos cuando estos son encargados a agentes externos al proyecto. Además, los costos objetivos especificados deben ser aceptados por el equipo del proyecto como alcanzables desde el inicio.

Para obtener buenos resultados con esta metodología es fundamental poseer una base de costos organizada según el tipo de proyecto. Además, se deben registrar los porcentajes reales del monto total del proyecto que cada especialidad consume para poder distribuir de la mejor manera el dinero.

Según Flanagan y Tate (1997), los tres principios de un sistema de control de costos son:

- Establecer un marco de referencia
- Desarrollar un método de revisión
- Poseer un plan de soluciones

Entonces, según estos principios y lo explicado anteriormente, la metodología Diseñar al costo se podría dividir en tres grandes etapas como se aprecia en la Figura 6.1.



Fuente: El Autor

### 6.1.1.3 Ventajas de Diseñar al costo

Esta estrategia permite tomar mejores decisiones. Al haber proyectado los costos se pueden evaluar diferentes alternativas en etapas aún tempranas para aquellos elementos que superan los costos objetivos (Crow, 2000).

Al establecer el costo como una restricción para el diseño y no como una consecuencia de él, se reduce la inversión de dinero y tiempo.

## 6.2 Ingeniería del valor

Asegurar la obtención del mayor valor para el dinero del cliente es un proceso que debe llevarse a cabo cuidadosa y ordenadamente. A continuación se tratará una metodología muy poderosa para conseguir este propósito.

### 6.2.1 Definiciones básicas

En las siguientes líneas se presentan las definiciones de los términos más importantes que permitirán entender el fundamento y los objetivos de la metodología de la Ingeniería del Valor.

#### 6.2.1.1 Ingeniería del valor

En la literatura, existen diferentes términos empleados por los autores y organizaciones para referirse a las diversas metodologías de la Gestión del Valor. A continuación se muestran las definiciones de los términos empleados en el Reino Unido, reconocidos por Kelly *et al.* (2004):

La Gerencia del Valor (VM por sus siglas en inglés) “es el término empleado para describir el proceso completo de conseguir valor para el cliente a través de un proyecto desde las etapas de concepción hasta la etapa de uso y operación.”

La Ingeniería del Valor (VE por sus siglas en inglés) “es el término empleado para describir un subproceso del proceso de Gerencia del Valor, cuyo objetivo es mejorar el valor del ‘proyecto técnico’ en las etapas de diseño y construcción.”

Es importante resaltar la diferencia que existe entre los dos términos definidos anteriormente, al respecto Kelly *et al.* (2004) mencionan lo siguiente:

“Desde la perspectiva de un proyecto VM busca mejorar el ‘proyecto de negocio’ y su implicancia en el ‘proyecto técnico’, mientras que VE busca mejorar el desarrollo del ‘proyecto técnico’ para conseguir los objetivos y aspiraciones establecidas por el ‘proyecto de negocio’.

### 6.2.1.2 Valor

Este término sin duda es el más importante y debe ser entendido claramente para comprender el objetivo de la metodología de VE. El concepto de valor se define mediante la relación entre la satisfacción de las necesidades del cliente y los recursos empleados para ello, esto queda representado mediante la Ecuación 6.1 (The Institute of Value Management, 2006).

$\text{Valor} = \frac{\text{Satisfacción de necesidades}}{\text{Uso de recursos}}$
<b>Ecuación 6.1: Concepto de Valor</b>

Fuente: The Institute of Value Management (2006)

### 6.2.1.3 Función

Según Kelly *et al.* (2004) el término *función* se define como “una actividad o acción característica para la cual una cosa es utilizada o para la cual algo existe.”

## 6.2.2 Objetivo de VE

VE tiene como principal objetivo crear más valor para el cliente. Específicamente según los objetivos del proyecto, el sistema de gestión empleado y el tiempo en el cual el estudio de VE es llevado a cabo se pueden obtener beneficios tales como ahorro de dinero, reducción del tiempo y mejoras en la calidad, la confiabilidad, el mantenimiento y el desempeño del proyecto (Dell’Isola, 1997).

## 6.2.3 Metodología de VE

La principal metodología de aplicación de VE consiste en llevar a cabo estudios o revisiones a lo largo del desarrollo del proyecto. Es importante mencionar que la metodología de VE no debe ser vista simplemente como una revisión del diseño o la aplicación de una serie de pasos para obtener un resultado. Como indica Cullen (2006), VE “*es un esfuerzo creativo y organizado que analiza los requerimientos de un proyecto con el propósito de conseguir las funciones esenciales al menor costo total durante toda la vida del proyecto.*”

La aplicación de VE puede hacerse en cualquier etapa del diseño, inclusive durante la construcción del proyecto; sin embargo, los mayores beneficios se conseguirán si se aplica lo más pronto posible en el proyecto; además, el esfuerzo y el costo involucrados serán mucho menores. Esta idea queda esquematizada mediante la Figura 6.2.

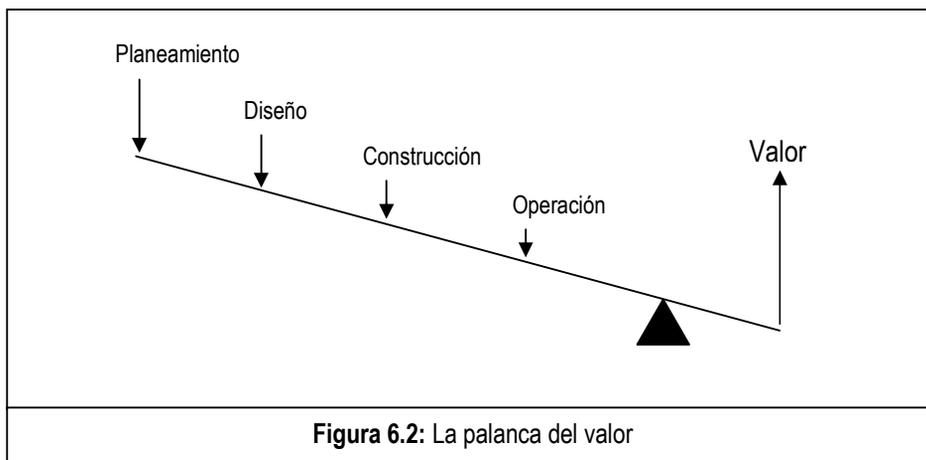


Figura 6.2: La palanca del valor

Fuente: Adaptado de Kelly *et al.* (2006)

### 6.2.3.1 Información para el estudio

Antes de implementar cualquier estudio de VE es necesario conocer el alcance del proyecto. Este alcance queda definido por el plan de costos, el plan de gerencia y las bases del diseño (Dell'Isola, 1997). En estos tiempos, entre los factores costo, tiempo y calidad, el primero es el que, generalmente, más interesa a los clientes; sin embargo, es justamente en el manejo del costo del proyecto donde se cometen los principales errores. Las técnicas de VE pueden ser bastante útiles para la administración del costo del proyecto si la información necesaria se prepara de la manera adecuada.

Los costos son los fundamentos de los análisis del valor (Dell'Isola, 1997). La principal herramienta empleada en los estudios de VE es el modelo de costos del proyecto. En la gran mayoría de proyectos se fijará un costo objetivo para el proyecto, entonces el modelo deberá incluir los costos reales y los objetivos. Si el estudio busca eficiencia en un recurso diferente al costo, un modelo similar al explicado anteriormente podrá producirse utilizando una unidad de medida relacionada al factor que se busca mejorar.

Según Dell'Isola (1997), la correcta preparación del presupuesto permite a través de VE el control de los alcances del proyecto y de las decisiones relacionadas al diseño sin que se produzcan sobrecostos. Dell'Isola (1997) indica que un buen presupuesto debe estar respaldado por los

parámetros de diseño establecidos y los niveles de calidad aceptables, luego estos parámetros serán utilizados como guías para el fundamento de las recomendaciones, productos de las técnicas de VE, para producir mayor valor.

### 6.2.3.2 Taller de las 40 horas y Análisis de Funciones por Elemento

Específicamente en la etapa de diseño, el *estudio de 40 horas*, ampliamente utilizado en los Estados Unidos, es el principal estudio de VE. Este estudio consiste en la revisión del diseño por parte de un segundo equipo de diseño a cargo de un ingeniero del valor (Kelly *et al.* 2004). En esta tesis se ha integrado el Taller de las 40 horas con la herramienta denominada Análisis de Funciones por Elemento ya que esta es empleada durante el estudio.

La actividad que es característica de las metodologías de VE es pensar en *funciones* y no en cosas. El Análisis de Funciones por Elemento es una herramienta de VE para el análisis de costos pero enfocado desde el punto de vista de las funciones que desarrollan los elementos y si estos son necesarios o no según la función que desempeñan. Es importante conocer la definición del término *elemento* en este contexto. Según el Royal Institution of Chartered Surveyors del Reino Unido, citado por Kelly *et al.* (2004), el término *elemento* se define como “*un componente que desarrolla una función específica o varias funciones sin importar su diseño, especificaciones o construcción.*”

El taller de las 40 horas está compuesto por 5 etapas, las cuales se mencionan y detallan a continuación:

1. Información: al inicio del estudio es necesario que cada miembro del equipo revisor tenga los esquemas de diseño, las propuestas de la estructura e instalaciones de la edificación y el costo estimado del proyecto (Kelly *et al.* 2004). Es importante que el arquitecto del proyecto realice una exposición introductoria al equipo de diseño encargado de la revisión para que éste conozca y comprenda los antecedentes y las decisiones relacionados al desarrollo del diseño (Cullen, 2006).

Luego, el equipo debe realizar un análisis de las funciones que desempeñan las diferentes partes de la edificación (Kelly *et al.* 2004). El nivel de detalle del análisis dependerá de la etapa específica del proceso de diseño en la cual se realiza el estudio; es decir, se pueden analizar las funciones que desempeñan los sistemas, subsistemas o componentes de la edificación.

Se identifican aquellos elementos que producen poco valor para el cliente debido a un costo innecesariamente alto. Esto puede realizarse analizando el modelo de costos del proyecto. Adicionalmente, se puede elaborar un histograma de los costos por elemento, pues permite visualizar fácilmente a los elementos que dominan el presupuesto, así como aquellos elementos que, según el tipo de proyecto, son injustificadamente costosos. Luego, se elabora una lista para cada elemento identificado que contenga todas las funciones que podría desempeñar, independientemente de su diseño, sus especificaciones y de su construcción.

Se seleccionan las funciones de cada elemento según el proyecto en cuestión. Es necesario comparar las funciones seleccionadas con las necesidades requeridas de funcionalidad. De esta revisión se pueden identificar funciones inadecuadas o innecesarias.

2. Especulación: en esta etapa el equipo propone alternativas de diseño que satisfagan las funciones identificadas anteriormente (Kelly *et al.* 2004).
3. Evaluación: en esta etapa se realiza un análisis de las alternativas propuestas en la etapa de especulación y se seleccionan las ideas que deben ser desarrolladas profundamente. En situaciones en las cuales la evaluación de las alternativas no se pueda llevar a cabo en términos de costos, se puede hacer una evaluación asignando pesos a los diferentes factores asociados a la situación en particular (Cullen, 2006).

Es importante que en esta etapa participen el cliente y los usuarios de la edificación. Además, Kelly *et al.* (2004) indican que antes de pasar a la siguiente etapa, algunos ingenieros del valor, prefieren discutir las propuestas con el arquitecto del proyecto para evitar realizar trabajo innecesario en caso algunas de las propuestas ya hayan sido consideradas y rechazadas por el equipo de diseño del proyecto o en caso el arquitecto no esté de acuerdo con la idea propuesta bajo ninguna circunstancia.

4. Desarrollo: el objetivo de esta etapa es desarrollar detalladamente las propuestas seleccionadas. El desarrollo consiste en describir la propuesta, evaluar las ventajas y desventajas, calcular el costo inicial y a lo largo del ciclo de vida del proyecto, realizar una comparación con el diseño original y, si es requerido, desarrollar esquemas y cálculos de diseño (Cullen, 2006). Aquellas propuestas que requieran una mayor inversión de recursos o que no provean una calidad adecuada deben ser rechazadas.

5. Presentación: el ingeniero del valor debe elaborar un informe con las propuestas desarrolladas y entregarlo al cliente y al arquitecto, éste último debe entregar una copia a cada miembro del equipo de diseño. También es recomendable realizar una exposición oral sobre las soluciones alternativas recomendadas.

Finalmente, el equipo de diseño del proyecto realiza una reunión para evaluar los resultados del estudio y concluir si cada propuesta debe ser implementada en el diseño o rechazada.

Típicamente, la duración del estudio descrito anteriormente es, como su nombre lo indica, de 40 horas, pero ésta depende finalmente del tamaño y de la complejidad del proyecto. Líneas arriba se mencionó que el estudio es llevado a cabo por un segundo equipo de diseño. Alternativamente a esta idea, el estudio puede ser realizado por el equipo de diseño del proyecto si no hay suficientes recursos disponibles. Como indica Kelly *et al.* (2004), con esta práctica el costo del estudio sería menor y la implementación de las propuestas en el proyecto sería más rápida; además, el equipo de diseño posee un profundo conocimiento sobre el proyecto. Sin embargo, el equipo de diseño puede mantener el mismo enfoque inicial y no producirían tantas ideas nuevas como lo haría un equipo de diseño alternativo. La principal desventaja de llevar a cabo el estudio con un equipo de diseño alternativo es que el equipo de diseño del proyecto puede concebir a la revisión como una crítica a su diseño (Kelly *et al.* 2004). Cualquiera que sea la opción elegida es necesario que el equipo de diseño encargado del estudio esté conformado por una mezcla de especialistas, de tal manera que refleje las características del proyecto (Kelly *et al.* 2004). Si el estudio va a ser desarrollado por un equipo alternativo, como regla general, los miembros deberán tener igual o mejores calificaciones que el equipo de diseño original (Dell'Isola, 1997).

### 6.2.3 Ventajas de VE

VE es una metodología muy poderosa que introduce numerosas e importantes mejoras en el proyecto, las más importantes son:

- Aseguramiento de la satisfacción de las necesidades del cliente y de los usuarios
- Aumento de la calidad, funcionalidad, desempeño y seguridad de la edificación
- Reducción de costos de construcción, operación y mantenimiento
- Reducción de plazos

Si bien muchas veces es discutida la aplicación de los estudios de VE por la inversión de recursos extras en el proyecto, en la literatura se pueden encontrar numerosas investigaciones que demuestran que esta inversión es insignificante comparada a las ventajas que se pueden conseguir con estos estudios. Adicionalmente, en una conversación vía correo electrónico Male (2006) dijo lo siguiente:

*“Nuestra experiencia ha demostrado que sin importar qué tan bueno sea un diseñador es el exhaustivo e integral alcance de la Ingeniería del Valor mediante la realización de intensivos estudios que producen ideas/soluciones que los procesos normales no producen.”*

### 6.3 Referencias

1. ASTM International (2005) Standard Classification for Building Elements and Related Sitework – UNIFORMAT II. (ASTM-1557-05)
2. Ballard, G. y Reiser, P. (2004) The St. Olaf College Fieldhouse Project: A case study in designing to Target Cost. 12va Conferencia del International Group for Lean Construction. Copenhague, Dinamarca. Del 3 al 5 de agosto del 2004.
3. Ballard, G. (2006a) Target Costing in Construction. 1ra Conferencia Internacional de la Especialidad de Construcción. Alberta, Canada. Del 23 al 26 de mayo del 2006.
4. Ballard, G. (2006b) Target Costing in the Construction Industry. Borrador proporcionado por el autor que será enviado al Building Research and Information.
5. Crow, K. (2000) Design to cost/Target costing [Online] <http://www.npd-solutions.com/dtc.html> (Sitio visitado en julio del 2006)
6. Cullen, S. (2006) Value Engineering [Online] [http://www.wbdg.org/project/value\\_engineering.php](http://www.wbdg.org/project/value_engineering.php) (Sitio visitado en febrero del 2006)
7. Dell'Isola, A. (1997) Value Engineering: Practical applications for Design, Construction, Maintenance and Operations. R.S. Means Co.
8. Flanagan, R. & Tate, B. (1997) Cost control in building design. Blackwell Science.
9. Gil, N.; Tommelein, I.; Kirkendall, R.L. y Ballard, G. (2000) Contribution of Specialty Contractor Knowledge to Early Design. 8va Conferencia del Internacional Group for Lean Construction. Brighton, Reino Unido. Del 17 al 19 de julio del 2000.
10. Kelly, J.; Male, S. & Graham, D. (2004) Value Management of Construction Projects. Blackwell Science
11. Male, S. (2006) Conversación vía correo electrónico. Agosto del 2006.
12. The Institute of Value Management (IVM) What is Value Management: Concept of Value [Online] [http://www.ivm.org.uk/vm\\_what.htm#concept](http://www.ivm.org.uk/vm_what.htm#concept) (Sitio visitado en abril del 2007)

## PROPUESTA: GERENCIA DEL DISEÑO CON VALOR

---

Luego de haber realizado una revisión de las prácticas y herramientas recomendadas por diferentes autores en los capítulos anteriores, en este capítulo se presenta y describe la propuesta del autor del proceso de gerencia del diseño.

### 7.1 Gerencia del diseño con valor

Si bien es cierto que en la realidad es muy difícil dividir un proyecto de construcción en etapas bien definidas, fue necesario hacerlo para entender el campo de aplicación de las prácticas y herramientas recomendadas en la propuesta. El proyecto de construcción se dividirá en las etapas de Concepción, Diseño, Construcción y Operación y Mantenimiento. Se considerará finalizada la etapa de Concepción cuando se hayan definido las necesidades del cliente, los objetivos del proyecto y las restricciones que se deberán tomar en cuenta para diseñar; después de ésta empezaría la etapa de Diseño.

En la Figura 7.1 se muestra el esquema del proceso de gerencia de diseño propuesto, el cual se describirá en detalle en las siguientes líneas.

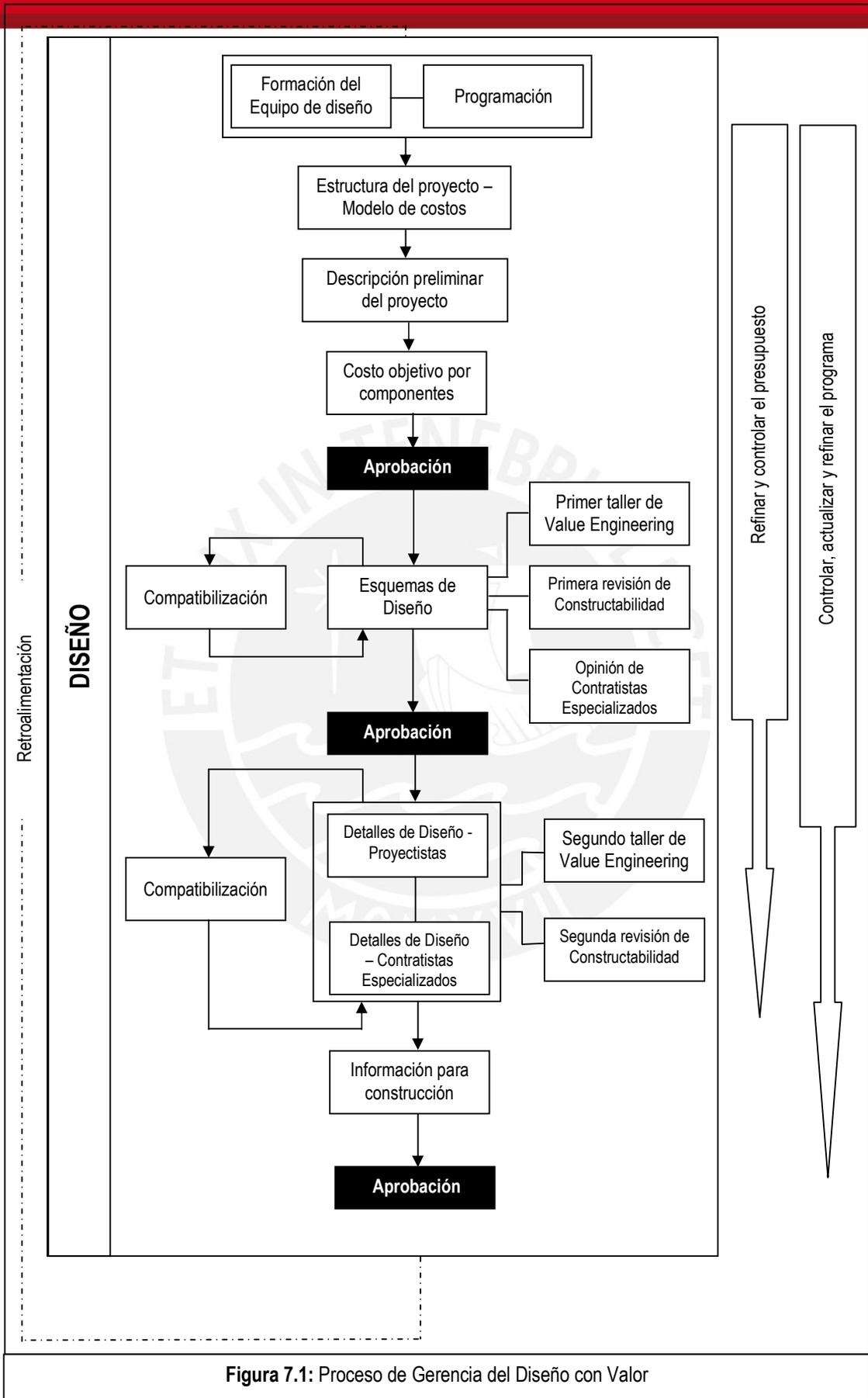


Figura 7.1: Proceso de Gerencia del Diseño con Valor

### 7.1.1 Información preliminar

Durante la etapa de concepción, etapa previa a la de diseño, se ha obtenido la definición del proyecto, se han identificado y jerarquizado las necesidades del cliente y de los usuarios, se han determinado el objetivo del proyecto y los criterios de valor del cliente, se han establecido las restricciones de diseño, el costo objetivo del proyecto (si fuese el caso) y su duración aproximada.

### 7.1.2 Información básica para el diseño

La Gerencia de Diseño deberá planificar y coordinar desde el inicio todas las actividades que se llevarán a cabo durante la fase de Diseño. Lo primero será formar el equipo según las especialidades requeridas por el proyecto y asegurarse de que todos los integrantes hayan comprendido las necesidades del cliente, los objetivos del proyecto y las restricciones de diseño. En paralelo se deberá elaborar el programa de actividades que necesariamente deberá ser conocido por todo el equipo, revisado y aceptado como realizable, con lo cual quedará aprobado. En el programa se establecerán explícitamente los hitos que definirán el término de una sub-etapa y la frecuencia de reuniones de coordinación; además, es importante definir de manera clara la información que deberá proporcionar cada diseñador y el medio de comunicación. Las responsabilidades deberán ser determinadas claramente; por ejemplo, quién será el encargado de la compatibilización de la información.

Se deberá desarrollar la estructura del proyecto en base a sus componentes y producir el modelo de costos del proyecto. Todos los documentos producidos deberán tomar esta estructura como referencia. Los principales documentos que servirán como referencia para el equipo y la gerencia del diseño serán el modelo de costos y la definición preliminar del proyecto. En este último documento se especifican los requerimientos técnicos de cada componente de la edificación. Luego, si se empleara la técnica de Diseñar al costo, el costo objetivo del proyecto debe ser distribuido en todos los elementos que forman parte de la estructura del proyecto. Todos los diseñadores deberán aceptar como alcanzable el presupuesto asignado para cada especialidad para que este sea aprobado.

Esta sub-etapa concluye con la aprobación del programa y, si fuere el caso, de los costos objetivo de los diseños de cada especialidad.

### 7.1.3 Esquemas de diseño

Es posible que la producción de los esquemas de diseño haya empezado durante la etapa de Concepción pues ayuda a los diseñadores a definir de una manera más clara los requerimientos del

cliente y al cliente a entender la interpretación de los diseñadores. Sin embargo, la mayor cantidad de esquemas se producirá luego de definir claramente las necesidades del cliente, los objetivos del proyecto y las restricciones de diseño.

Paralelamente se debe compatibilizar la información producida. La técnica de compatibilización propuesta es la elaboración de un dibujo en 3D de la edificación. Esta técnica permite concentrar toda la información en un solo punto, el cliente y los diseñadores serán capaces de observar el producto “real” y entenderlo mejor, se podrá hacer una evaluación constructiva del diseño y se simplificará el trabajo de compatibilización ya que sólo se debe actualizar el modelo a medida que información más detallada sea producida. Los errores identificados deberán ser informados a los especialistas para que sean corregidos.

Durante esta sub-etapa se recomienda llevar a cabo el primer taller de Value Engineering. El equipo encargado de la revisión del diseño podrá ser el mismo equipo que participa en el desarrollo del proyecto o uno externo, dependiendo de los recursos disponibles. Se deberá elaborar un informe con todas las recomendaciones hechas por el equipo e incorporar aquellas que enriquezcan al diseño. Se deberá tener especial cuidado cuando se realice este ejercicio por un equipo externo para que los diseñadores del proyecto no lo tomen como una crítica a sus diseños sino más bien como un aporte al proyecto.

En paralelo se deberá recoger la opinión y las recomendaciones del constructor para asegurar la constructabilidad del diseño. Esta evaluación deberá considerar factores como la facilidad constructiva, la economía, el tiempo requerido, la calidad y la seguridad durante la construcción. El encargado de esta evaluación puede ser el constructor del proyecto, si se conoce de antemano, o un constructor contratado especialmente para este ejercicio.

Se recomienda pedir la opinión de los contratistas especializados de las especialidades más importantes, sea por su influencia en el costo o en el tiempo, para asegurar la trabajabilidad del diseño.

Una vez que se asegure que el diseño satisface las necesidades del cliente y los objetivos del proyecto, los esquemas de diseño deberán ser aprobados por el cliente y el equipo de diseño, con lo cual esta sub-etapa quedará concluida. Es importante que tanto el cliente como los diseñadores comprendan que futuros cambios necesitarán la inversión de recursos extras.

#### 7.1.4 Detalles de diseño

En esta sub-etapa se producen los detalles necesarios para la construcción del proyecto. Esta sub-etapa se divide en dos actividades principales, la primera corresponde a la producción de detalles de los proyectistas que conforman el equipo del proyecto. La segunda actividad corresponde a la producción de los detalles de los contratistas especialistas, información que también debe ser incorporada al modelo de compatibilización. Estos detalles deben ser incorporados al modelo 3D para su compatibilización.

Se recomienda realizar un segundo taller de Value Engineering y otro de Constructabilidad, esto dependerá de los recursos disponibles. Tanto el taller de Value Engineering llevado a cabo durante el desarrollo de los esquemas y en esta etapa, la del detallado, se realizan de misma forma (según lo descrito en el Capítulo 5); sin embargo, difieren en el detalle con el cual se analiza el proyecto.

Finalmente se reúne toda la información producida y aprobada y se organiza el expediente que será utilizado para la construcción del proyecto.

Es importante mencionar que no necesariamente todos los detalles tienen que haber sido producidos para que la construcción empiece. Dependiendo de la estrategia elegida para el desarrollo del proyecto la producción de detalles puede ser dividida en pequeños paquetes de trabajo y enviada periódicamente para que sea utilizada en la construcción. Es necesario asegurarse de que la división no afectará la secuencia de construcción. Además, es necesario que la información que será enviada sea revisada, compatibilizada y aprobada.

#### 7.1.5 El presupuesto y el programa

Paralelamente al desarrollo de las sub-etapas explicadas anteriormente, la Gerencia del Diseño deberá refinar, actualizar y controlar el programa y el presupuesto del proyecto.

#### 7.1.6 Retroalimentación

Se deberá implementar un sistema de retroalimentación que permita aprender de lo ocurrido en cada proyecto y evitar que en futuros proyectos se cometan los mismos errores. Se deben registrar los cambios producidos y su influencia en el presupuesto, los errores cometidos, las prácticas que produjeron resultados satisfactorios, etc. Pero no sólo debe registrarse lo ocurrido durante la etapa de diseño, sino que deberá hacerse un seguimiento a las etapas de construcción y operación y mantenimiento para conocer si lo especificado en el diseño fue satisfactorio o no.

## CASO PRÁCTICO

---

“...Al final, un buen diseño es aquel que cumple con las restricciones hasta un cierto grado en relación a lo aceptado.”

Bryan Lawson  
*How Designers Think: The design process demystified*  
Architectural Press, 2006

En este capítulo se describirá la aplicación del proceso de Gerencia del Diseño con Valor en un proyecto real.

### 8.1 Descripción general del proyecto

El proyecto elegido para la aplicación de la propuesta de este estudio comprende el diseño y la construcción de una piscina techada semi-olímpica para un colegio de la ciudad de Lima. El área construida de la edificación que alberga a la piscina es de 986.16m<sup>2</sup> y el área total del proyecto es de 2,026.76m<sup>2</sup>, incluyendo las obras exteriores y los trabajos de paisajismo. Las dimensiones de la piscina son 12.64mx25.025m.

La edificación consta de la zona principal de la piscina, dos ambientes para vestidores y baños independientes para hombres y mujeres, dos baños para personas minusválidas, dos oficinas, un tópic y un sótano. La zona de depósito, el área de limpieza, el cuarto de bombas y la cámara de compensación se encuentran en el sótano. Existen dos escaleras de acceso al sótano, una en el interior de la edificación y la otra en el exterior. Una zona exterior aledaña al edificio ha sido destinada para la colocación del tanque de gas y el calentador de la piscina.

En el Dibujo 8.1 se muestra una de las fachadas de la edificación de la piscina semi-olímpica.



**Dibujo 8.1:** Dibujo en 3D de la edificación de la piscina

Fuente: Arquitectos del proyecto

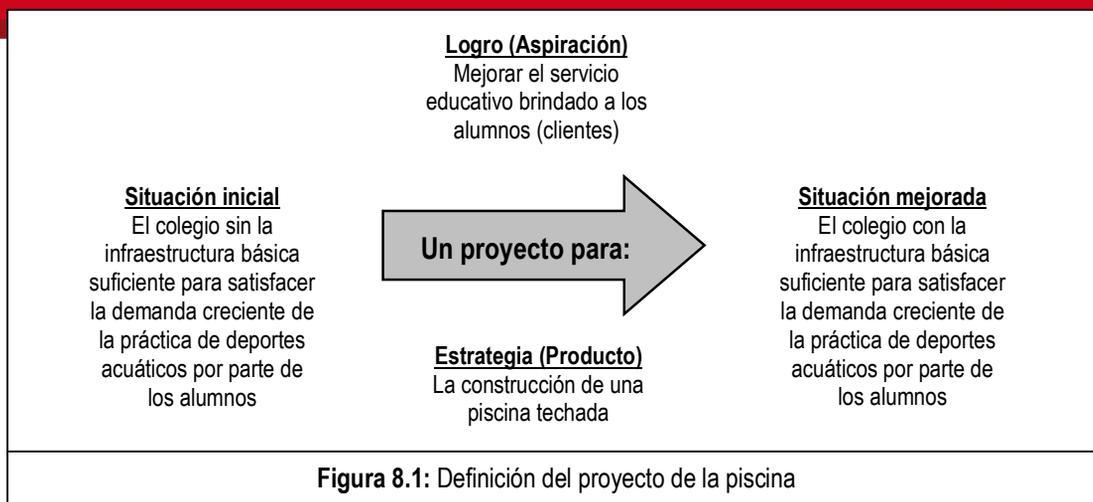
## 8.2 Etapa de concepción – Briefing

Este proyecto no estuvo gestionado por una gerencia desde sus inicios. Los primeros profesionales en ser contratados por el cliente fueron dos arquitectos, quienes produjeron el anteproyecto luego de conocer las necesidades del cliente. Algunos meses después de haberse iniciado el proyecto se contrató a una gerencia de proyectos para que gestione de manera integral el proyecto de la piscina.

### 8.2.1 Definición del proyecto

En la Figura 8.1 se muestra de manera esquemática la definición del proyecto de la piscina. Esta definición fue obtenida al conocer, mediante la encuesta que se muestra a continuación, los diferentes puntos de vista sobre la definición del proyecto de los representantes del colegio.

Sobre el proyecto podemos decir que tiene como objetivo aumentar la infraestructura básica del colegio con la cual se pueda satisfacer la creciente demanda de la práctica de deportes acuáticos por parte de los alumnos, mediante la construcción de una piscina techada. De esta manera se estaría logrando una mejora en el servicio educativo brindado a los alumnos (clientes).



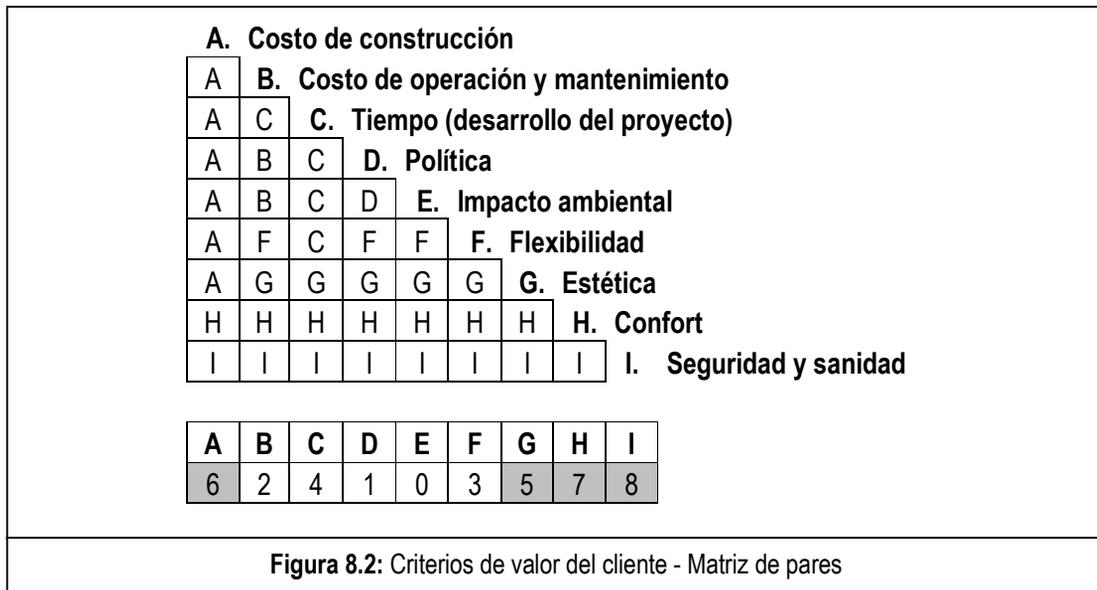
Fuente: El Autor

### 8.2.2 Criterios de valor del cliente

Con el fin de conocer los criterios de valor del cliente se solicitó a los integrantes del proyecto por parte de la organización del cliente completar la matriz de pares. Esta fue incluida en la encuesta mostrada anteriormente. La información que se utilizó en el proyecto fue obtenida del promedio de las respuestas obtenidas, la cual se muestra en la Figura 8.2.

La metodología de aplicación de esta herramienta fue tratada por José Miranda en su tesis de pregrado “Asegurando el valor en proyectos de construcción: Un estudio de técnicas y herramientas usadas en las etapas de concepción y planeamiento.”

Como se aprecia en la Figura 8.2 las principales restricciones que debe satisfacer el diseño, en orden de importancia, son la seguridad y sanidad, el confort, el costo de construcción y la estética.



Fuente: El Autor

### 8.2.3 Quality Function Deployment (QFD)

Con el fin de obtener información más útil para los diseñadores se utilizó la herramienta llamada Quality Function Deployment. La aplicación de esta herramienta también fue tratada por José Miranda en su tesis de pre-grado.

Esta matriz sirvió para identificar a aquellos elementos del proyecto en los cuales los diseñadores debían prestar mayor atención. La estructura del proyecto se obtuvo en base a UNIFORMAT II de la ASTM, con algunas excepciones y según los elementos que formaban parte de este proyecto. Los criterios de valor del cliente son los mismos que se incluyeron en la matriz de pares tratada en el punto anterior. En la intersección del criterio de valor con el elemento del proyecto se indica el grado de correlación que existe entre ambos. Luego según el nivel de importancia para el cliente de cada criterio y el grado de correlación existente se obtienen los elementos más importantes del proyecto, en los cuales los diseñadores deben enfocar los mayores esfuerzos. El grado de correlación va desde 0 a 10, donde 0 indica que no existe correlación y 10 indica una completa correlación.

En la Figura 8.3 se muestra la matriz del QFD. Se puede apreciar que los elementos del proyecto más importantes son la acústica, las instalaciones eléctricas, la cobertura exterior, el quitamiento de la piscina, los acabados interiores, las construcciones interiores y los acabados de la piscina.

CRITERIOS DE VALOR	ESTRUCTURA DEL PROYECTO																		NIVEL DE IMPORTANCIA PARA EL CLIENTE
	Cimentaciones	Sótano	Superestructura	Pisos exteriores	Cobertura exterior	Techo metálico y cobertura	Construcciones interiores	Escaleras	Acabados interiores	Instalaciones sanitarias	Instalaciones eléctricas	Instalaciones de gas	Estructura de la piscina	Acabados de la piscina	Equipos e inst. de piscina	Accesorios de piscina	Obras exteriores	Acústica	
Bajo costo de construcción	6	6	9	6	9	9	8	5	9	5	7	5	8	9	8	8	6	9	6
Bajo costo de operación y mant.	5	5	5	5	6	8	5	5	7	5	7	7	5	7	8	5	4	7	2
Corto tiempo de ejecución	5	5	6	5	5	7	5	4	5	4	5	4	6	8	8	6	4	5	4
Estandares y reglamentos internos	3	5	3	6	4	4	6	3	6	4	7	4	4	6	4	4	6	6	1
Bajo impacto ambiental	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	7	7	0
Alta flexibilidad del diseño	4	6	7	4	7	6	7	4	4	6	7	4	4	4	5	5	5	5	3
Estética	3	3	8	6	5	5	7	3	8	3	6	3	3	8	3	8	6	6	5
Alto confort de los usuarios	3	3	4	3	6	5	4	4	4	4	8	3	3	4	9	4	4	9	7
Alta seguridad	3	5	4	4	7	4	7	5	7	3	6	4	3	4	5	4	6	5	8
<b>PESO PONDERADO CLIENTE</b>	141	165	212	167	234	212	224	154	230	145	238	144	158	218	233	201	187	242	3505
<b>PESO RELATIVO CLIENTE (%)</b>	4.0	4.7	6.0	4.8	6.7	6.0	6.4	4.4	6.6	4.1	6.8	4.1	4.5	6.2	6.6	5.7	5.3	6.9	100%
<b>ELEMENTOS IMPORTANTES</b>					x		x		x		x			x	x			x	

Figura 8.3: Quality Function Deployment (QFD)

Fuente: El Autor

## 8.2.4 Costo objetivo

Este proyecto fue financiado con los recursos propios del cliente, pero estos no eran ilimitados. El cliente había destinado la suma total de \$650,000.00 para la realización del proyecto, incluyendo contingencias.

## 8.3 Etapas de diseño y construcción

### 8.3.1 Planeamiento y programación

Las dos actividades principales correspondientes al planeamiento y a la programación del proyecto fueron la producción del cronograma general y la organización del equipo del proyecto. El costo objetivo del proyecto fue una restricción definida desde el inicio del proyecto por el cliente; por lo tanto, no fue actividad de la gerencia del proyecto la determinación de este.

#### 8.3.1.1 Cronograma master

En base a estimaciones y a experiencias en proyectos anteriores se estimaron las duraciones de las actividades de diseño y construcción y se elaboró el cronograma master del proyecto, el cual se muestra a continuación.

Cuatro hitos importantes se establecieron a lo largo del proyecto, los cuales consistían en las aprobaciones que debía realizar el cliente para asegurar que el proyecto se desarrollaba de acuerdo a lo requerido. El primer hito fue la aprobación del anteproyecto; el segundo, la aprobación de las propuestas de mejora del Primer taller de VE; el tercero, la aprobación de los esquemas de diseño; y el cuarto, la aprobación del expediente para la construcción.

En las siguientes líneas serán explicadas todas las actividades llevadas a cabo durante el proyecto.

### **8.3.1.2 Formación del equipo del proyecto**

En el Cuadro 8.1 se muestra la relación de los integrantes del equipo del proyecto. Como se puede apreciar, las disciplinas de diseño son las usualmente requeridas en los proyectos de edificaciones, a excepción de la acústica. El requerimiento del acondicionamiento acústico de la edificación fue identificado al realizar numerosas visitas a piscinas existentes y observar que la deficiente acústica de este tipo de espacios producía molestias en los usuarios.

Es importante resaltar la correcta organización de los integrantes del proyecto por parte del cliente. Al intervenir representantes de las diferentes partes de la organización del cliente las coordinaciones fueron bastante rápidas y eficientes. Las restricciones económicas, las necesidades del colegio (consideraciones que se debían tomar en cuenta en este edificio para que funcione en conjunto con el resto de edificios del colegio), las necesidades de uso de la edificación y la opinión de los padres de familia podían ser conocidas y coordinadas eficientemente.

<b>Cliente</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerente del proyecto</li> <li>• Padres de familia (Comité interno)</li> <li>• Gerente de infraestructura y mantenimiento</li> <li>• Profesora de natación (Usuario)</li> </ul>
<b>Gerencia del proyecto</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerente del proyecto</li> <li>• Ingenieros asistentes de gerencia</li> <li>• Ingeniero de presupuestos</li> </ul>
<b>Equipo de diseño</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arquitectos</li> <li>• Ingeniero estructural</li> <li>• Ingeniero eléctrico</li> <li>• Ingeniero sanitario</li> <li>• Ingeniero mecánico</li> <li>• Especialista en acústica (Arquitecto)</li> </ul>
<b>Cuadro 8.1: Equipo funcional del proyecto</b>

Fuente: El Autor

### 8.3.2 Revisión del anteproyecto

Como se mencionó anteriormente la gerencia del proyecto no estuvo a cargo del proyecto desde el inicio de este. El anteproyecto ya había sido elaborado; así que la primera actividad que se debía realizar era revisar el diseño preliminar y estimar su costo de construcción. La revisión del diseño preliminar consistía en determinar el grado de satisfacción de las necesidades del cliente, y esta serviría como información base para el Primer Taller de VE.

#### 8.3.2.1 Descripción preliminar del proyecto

Luego de haber revisado el anteproyecto, se elaboró la lista de elementos, tanto de los existentes como los que debían ser adicionados, según la estructura del UNIFORMAT II de la ASTM y se definió el alcance de cada uno de ellos. En el Cuadro 8.2 se muestra la relación de elementos y los requerimientos técnicos que estos deben cumplir.

ITEM	ELEMENTO	REQUERIMIENTOS
<b>A</b>	<b>SUBESTRUCTURA</b>	
A10	Cimentaciones	La resistencia del suelo es de 2kg/cm <sup>2</sup> . Se deberá considerar un soldado para todos los elementos de concreto armado. No se usará encofrados. El suelo no presenta agresividad química contra los elementos de concreto.
A20	Sótano	La altura libre del sótano será de 2.40m. Los muros serán de concreto caravista. El techo del sótano será una losa aligerada que deberá soportar una sobrecarga de 300kg/m <sup>2</sup> . El piso será de cemento pulido. Se deberá contemplar la facilidad y economía para la limpieza y el mantenimiento. Sólo deberá tener acceso de ingreso al sótano el personal de mantenimiento.
<b>B</b>	<b>CASCO</b>	
B10	Superestructura	Estará conformada por columnas y vigas de concreto armado y muros de albañilería confinada. El techo de los vestidores será una losa aligerada cubierta con ladrillo pastelero.
SC	Pisos exteriores	Se deberá contemplar la facilidad y economía para la limpieza y el mantenimiento.
B20	Cobertura exterior	
B2010	Timpanos	<i>Deberán estar hechos con planchas livianas prefabricadas resistentes a la humedad. No deberán ser inflamables.</i>
B2020/B2030	Puertas y ventanas	<i>Las puertas y ventanas exteriores serán de vidrio templado con perfiles de aluminio. Las ventanas serán arenadas y las puertas deberán tener cintas de señalización que asemejen un arenado.</i>
B30	Techo metálico y cobertura	El techo será a dos aguas. Se deberán considerar elementos de acero disponibles en el mercado nacional. Deberán ser resistentes a la humedad del ambiente. La cobertura estará conformada por planchas livianas de acero con recubrimiento de asfalto.
<b>C</b>	<b>INTERIORES</b>	
C10	Construcciones interiores	
C1010	Divisiones	Para las divisiones de los ambientes se deberán considerar muros de albañilería tartajeados. Las divisiones en cada ambiente serán de planchas de melamine con perfiles de aluminio.
C1020	Puertas y ventanas	<i>Las puertas y ventanas interiores serán de vidrio templado con perfiles de aluminio. Las ventanas serán transparentes y las puertas deberán tener cintas de señalización que asemejen un arenado. Sólo las puertas de los vestuarios y de ingreso al sótano serán de MDF pintadas.</i>
C20	Escaleras	Las escaleras serán de concreto armado. El terminado de las escaleras será de cemento pulido. Las barandas serán de acero arenado y pintado.
C30	Acabados interiores	Los pisos serán enchapados con porcelanato italiano Floor Gress, antideslizante especial para piscinas. Los muros serán enchapados con pepelma.
<b>D</b>	<b>SERVICIOS</b>	
D20	Instalaciones sanitarias	Las instalaciones estarán embutidas en los elementos de concreto. Sólo en el sótano las instalaciones serán vistas. Se deberá considerar el uso futuro de agua caliente para todas las salidas de agua. El alimentador principal de agua estará conectado a la cisterna principal del colegio.
D50	Instalaciones eléctricas	Las instalaciones deberán ser impermeables y herméticas. La resistencia de los pozos de tierra deberá ser como máximo de 5ohms. Se deberá cumplir con lo especificado en el código americano de instalaciones eléctricas. El alimentador principal estará conectado a las subestación del colegio a 300m de distancia.

SC	Instalaciones de gas	Se deberá suministrar el gas suficiente para alimentar al calentador de la piscina y las termas de los baños. Se deberá considerar el cambio futuro de gas licuado a gas natural.
<b>SC</b>	<b>PISCINA</b>	
SC	Estructuras	Deberá ser lo más impermeable posible. Se deberá usar un concreto de relación agua:cemento igual o menor que 0.45.
SC	Acabados	La piscina será enchapada con porcelanato italiano Floor Gress especial para piscinas.
SC	Equipos e instalaciones	La piscina será temperada. El calentador de la piscina deberá funcionar con gas y estará ubicado en el exterior de la edificación. La temperatura promedio del agua será de 29°C.
SC	Accesorios	Los accesorios serán de acero inoxidable o de PVC.
<b>F</b>	<b>CONSTRUCCIONES ESPECIALES</b>	
F20	Demoliciones	--
SC	Obras exteriores	Todas las veredas serán de concreto con acabado de cemento pulido. Los sardineles serán de concreto caravista. Se deberá considerar un filtro de 0.50m de ancho en todo el contorno del edificio conformado por canto rodado, piedra chancada y hormigón.
SC	Acústica	El equipamiento acústico deberá estar conformado por materiales que resistan la humedad del ambiente y deberán ser compatibles con la arquitectura de la edificación.
<b>Cuadro 8.2:</b> Descripción preliminar del proyecto		

Fuente: El Autor

El cuadro mostrado serviría como herramienta de consulta para todos los participantes en el proyecto, pero con especial importancia para los estimadores de los costos de construcción.

### 8.3.2.2 Modelo de costos

Según la estructura indicada en el acápite anterior, se elaboró el modelo de costos del proyecto. Ya que el cliente había definido el costo objetivo del proyecto el modelo de costos debía desarrollarse para poder llevar a cabo la metodología de Diseñar al costo. El costo total de \$650,000.00 fue distribuido entre todos los elementos del proyecto en base a experiencias anteriores, registros y asunciones. La estructura del Modelo de costos se muestra a continuación (Ver Figura 8.4), donde se indica el costo objetivo de cada elemento del proyecto. Es importante indicar que los ratios se manejaron por m2 de área construida de piscina y no por m2 de área construida de la edificación.

### 8.3.2.3 Primera Estimación del costo

Como parte de la revisión del anteproyecto producido se estimó su costo de construcción. Como se aprecia en el Modelo de costos mostrado en la Figura 8.5, el costo de construcción estimado para el anteproyecto superó el costo objetivo establecido por el cliente. Debido a esto la Gerencia del proyecto

decidió llevar a cabo un taller de VE. Para este taller se empleó toda la información obtenida durante la etapa de concepción, la descripción preliminar el proyecto y las estimaciones producidas.

#### **8.3.2.4 Primer taller de VE**

El Primer Taller de VE fue llevado a cabo antes de que los esquemas de diseño sean producidos. Debido a que el costo de construcción estimado con el anteproyecto excedía el costo objetivo definido por el cliente, algunas modificaciones se debían realizar en el diseño. Este taller de VE fue llevado a cabo por la gerencia del proyecto y participó también el ingeniero de costos y el ingeniero estructural. Cabe resaltar la importancia de la participación del ingeniero estructural; ya que, a este fueron encargados algunos predimensionamientos que permitirían comparar y estimar los ahorros con los cambios propuestos.

A continuación se muestra el registro de los cambios propuestos, el efecto del cambio en el presupuesto y algunas observaciones importantes. Todos los cambios propuestos fueron explicados al cliente y a los arquitectos del proyecto para que estos los revisaran y aprobaran o rechazaran.

#### **8.3.2.5 Aprobación del cliente y del equipo de diseño**

Para beneficio del proyecto todos los cambios propuestos por la Gerencia del proyecto fueron aprobados por el cliente y los arquitectos. Luego de esto, los cambios fueron incorporados en los planos del proyecto y en base a este anteproyecto modificado se inició la producción de los esquemas de diseño de todas las especialidades.

#### **8.3.3 Esquemas de diseño**

En base al anteproyecto de arquitectura modificado y a la información obtenida durante la etapa de concepción del proyecto los especialistas desarrollaron sus diseños. Reuniones de coordinación del diseño semanales se llevaron a cabo, en las cuales también participaban el cliente y los usuarios. Si el cliente identificaba cambios necesarios que debían hacerse en el diseño o nuevos requerimientos que debían ser satisfechos los informaba durante la reunión para que sean conocidos por la Gerencia del proyecto y el Equipo de diseño. Todos los acuerdos eran transcritos a un Acta de reunión (Ver Anexo 06 – Acta de reunión) y enviados a todos los participantes de la reunión vía correo electrónico para formalizar y registrar los acuerdos.

### 8.3.3.1 Compatibilización

La compatibilización de los diseños de las distintas especialidades fue llevada a cabo por la Gerencia del proyecto. Debido a la simplicidad del proyecto, la revisión visual de los planos fue suficiente para obtener buenos resultados de la compatibilización. La coordinación de los diseños de las distintas especialidades se llevaba a cabo durante todo el proceso de diseño y no como una actividad aislada cada cierto tiempo. Los ingenieros encargados de compatibilizar los diseños redactaban una lista con todas las incompatibilidades encontradas (Ver Anexo 07 – Registro de incompatibilidades) y la enviaban a los diseñadores periódicamente para que estos corrigieran los planos y especificaciones.

### 8.3.3.2 Opinión de los contratistas especializados

Debido a que varios de los trabajos de construcción serían ejecutados por empresas especializadas, varias de estas fueron contactadas durante la producción de los esquemas de diseño para conocer sus opiniones acerca del diseño que se estaba desarrollando, y pudiesen comunicar sus sugerencias e indicaciones sobre algunas consideraciones que se debían tomar en cuenta en el diseño para que los sistemas de la edificación funcionaran adecuadamente y evitar que cambios drásticos en el diseño se produjeran en etapas posteriores. Un beneficio importante obtenido de la participación de las empresas especializadas fue la obtención de mejores estimaciones del costo de construcción. Los trabajos que serían encargados a empresas especializadas fueron: la fabricación e instalación de las mamparas, puertas y ventanas; las instalaciones de gas; el equipamiento e instalaciones de la piscina y el acondicionamiento acústico.

Además de contactar a empresas especializadas que ejecutan trabajos de construcción, varios proveedores de materiales fueron contactados para asegurar que lo indicado en los planos y en las especificaciones técnicas se encuentre disponible en el mercado y, en el caso de requerirse materiales importados, conocer los tiempos de importación y entrega para considerarlos en el cronograma del proyecto. Esta actividad era necesaria; ya que, el cliente compraría directamente algunos de los materiales que se emplearían en el proyecto.

### 8.3.3.3 Estimación del costo

La estimación de los costos de construcción del proyecto se llevó a cabo en base a ratios obtenidos de proyectos anteriores, a análisis de costos (para las actividades especiales de las cuales no se tenían registro de ratios) y a la información provista por los contratistas especializados.

Los costos estimados eran transformados a costos por m<sup>2</sup> (\$/m<sup>2</sup>) y registrados en el modelo de costos del proyecto (Ver Figura 8.5). Los costos estimados eran comparados con los costos objetivos y si existían desviaciones los diseños y las estimaciones eran revisados para identificar y corregir las causas de los sobre costos o menores costos. Es importante indicar que debido a que la distribución del costo objetivo entre los elementos del proyecto se basaba en suposiciones y experiencias en proyectos similares, los costos objetivos de los elementos eran continuamente revisados y reajustados. El principal objetivo era que el costo total no excediera al costo determinado por el cliente y no que el costo estimado de cada elemento no excediera el costo objetivo correspondiente.

#### **8.3.3.4 Aprobación del cliente**

Si bien mientras se desarrollaba el diseño se realizaban coordinaciones y revisiones con el cliente, cuando los esquemas fueron producidos en su totalidad y el costo de construcción había sido estimado se solicitó al cliente la aprobación de los documentos producidos para formalizar el fin de la etapa del proyecto y confirmar que futuros cambios en el diseño no serían necesarios. Al obtener la aprobación del cliente sobre los esquemas producidos y el presupuesto, el equipo de diseño comenzó la producción de los detalles para la construcción.

#### **8.3.4 Detalles de diseño – Construcción**

Los detalles constructivos no fueron producidos en su totalidad antes de que la construcción del proyecto empezara. Los detalles de arquitectura, de estructuras e instalaciones fueron divididos por paquetes e iban siendo entregados según los requerimientos del proceso de construcción. Los detalles de los trabajos especializados fueron delegados a los contratistas responsables de la ejecución de aquellos trabajos.

##### **8.3.4.1 Compatibilización**

La compatibilización de los diseños fue un proceso continuo. Debía asegurarse que cada paquete de detalles esté totalmente coordinado y completo para evitar retrasos en la construcción del proyecto o que presupuestos adicionales se produzcan debido a la necesidad de modificaciones en el sitio.

De manera similar al proceso de compatibilización llevado a cabo durante la producción de los esquemas de diseño, en esta etapa los encargados de la compatibilización de los diseños redactaban una lista con las incompatibilidades encontradas y la enviaban vía correo electrónico a los especialistas para que corrigieran los planos o especificaciones.

#### 8.3.4.2 Contrataciones

Todos los contratos de construcción fueron de modalidad Suma alzada. Sólo las contrataciones del contratista principal y del contratista especializado de gas se realizaron antes de iniciarse la construcción, tal como se aprecia en el cronograma master del proyecto. La de este último con el fin de agilizar los trámites para la aprobación del diseño, el otorgamiento de la licencia de construcción y el permiso de funcionamiento de las instalaciones de gas.

#### 8.3.4.3 Segundo taller de VE y taller de constructabilidad

Tanto el segundo taller de VE como el taller de constructabilidad se llevaron a cabo durante todo el proceso de producción de detalles constructivos así como durante el proceso de construcción. Los planos y especificaciones eran constantemente revisados y evaluados. Diferentes alternativas de diseño eran consideradas y sometidas a la revisión y aprobación del equipo de diseño y del cliente. Además, el contratista participaba también de este proceso hecho que permitió evaluar la constructabilidad de los detalles. A continuación se muestra el registro de las propuestas de cambio del Segundo taller de VE.

#### 8.3.4.4 Presupuesto final

Como se aprecia en la Figura 8.5 y en el registro de costos mostrado a continuación el costo total de construcción fue menor al costo objetivo establecido por el cliente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

Esta tesis se inició con un análisis de la práctica actual, del cual se estableció que las malas prácticas aplicadas durante la etapa de diseño producen varios problemas que generan una reducción del valor que el cliente puede obtener por su inversión.

En la primera parte se desarrolló una introducción teórica a los proyectos de construcción. Se expusieron definiciones de los términos *proyecto* y *gerencia de proyectos*, se explicaron las etapas que conforman un proyecto de construcción; además, se identificaron a los involucrados en estos y se describieron los roles y actividades que desarrollan y que deberían desarrollar. Finalmente, se estableció la necesidad de contar con una gerencia del diseño que integre el trabajo de los miembros del equipo de diseño y asegure que el esfuerzo de los consultores y especialistas estará enfocado hacia el logro de los objetivos del cliente.

En la segunda parte se estableció la definición de un diseño exitoso y se trataron algunas de las características que este debe incorporar. También se describieron las prácticas, técnicas y herramientas que han producido buenos resultados en los proyectos, relacionadas a las principales actividades que debe desarrollar la gerencia del diseño.

En la última parte se expuso y explicó la propuesta del autor del proceso de gerencia del diseño que reúne todo aquello tratado en el estudio que ha producido los mejores resultados en los proyectos de construcción. Finalmente, se aplicó la propuesta del autor en un proyecto de construcción real.

### 9.1 Conclusiones

Debido a los requerimientos y restricciones más exigentes impuestos por los clientes, es necesario llevar a cabo los proyectos de una manera diferente a la tradicional. Un proceso de gestión adecuado que incorpore las prácticas y herramientas modernas que han producido buenos resultados en los

proyectos de construcción debe ser implementado. La exactitud en la determinación de las necesidades del cliente y diseños que satisfagan estas necesidades (al más bajo costo, menor tiempo y mejor calidad) por medio de los cuales se obtenga el mayor valor para la inversión del cliente deben ser los principales beneficios que se obtengan del proceso de gestión. En el proyecto de la piscina la adecuada determinación de los requerimientos del cliente permitió manejar de una manera más eficiente los costos; ya que, se pudieron destinar mayores cantidades a aquellos elementos que eran más importantes para el cliente, como el acondicionamiento acústico que mejoraba el confort de los usuarios, y reducir el alcance de aquellos elementos que no eran significativos para el cliente.

La gestión del proceso de diseño debe estar a cargo de una gerencia del diseño independiente y especializada, cuyas principales actividades sean dirigir, coordinar y motivar a los involucrados para satisfacer los requerimientos del proyecto mediante la producción de un diseño adecuado.

El equipo de diseño debe ser multidisciplinario y balanceado. Los roles y responsabilidades de cada integrante deben estar claramente definidos desde el inicio del proyecto y se debe asegurar que todos los involucrados en el equipo conozcan los objetivos del proyecto que se deben conseguir mediante los diseños que produzcan.

La participación del cliente y de los usuarios es indispensable durante la etapa de diseño. Debido a las decisiones subjetivas que se deben tomar durante el proceso de diseño, la participación de estos es fundamental para elegir la mejor solución. Además, la participación directa de los usuarios permitirá tomar mejores decisiones de una manera más eficiente. La permanente participación de los representantes de diferentes sectores de la organización del cliente y de los usuarios durante el proceso de diseño de la piscina techada permitió tomar mejores decisiones para los problemas de diseño que se presentaron, debido a que las restricciones económicas, las necesidades del colegio y las necesidades de uso de la edificación podían ser conocidas por el equipo de diseño y por la gerencia de manera directa y las decisiones podían ser discutidas con aquellos que se pudieron ver afectados por ellas.

La temprana participación en la etapa de diseño del constructor y de los contratistas especializados produce beneficios al proyecto. Un análisis de la constructabilidad del diseño debe llevarse a cabo desde el inicio del proyecto por personas que tengan conocimientos y experiencia en construcción; si fuese posible, por las mismas personas que serán las responsables de la construcción del proyecto, para lo cual se deberá evaluar modalidades de contratación alternativas a la tradicional.

La producción de los detalles constructivos debe comprender dos etapas: la producción de los detalles por parte de los diseñaros del equipo de diseño y el detallado de los contratistas especialistas. Se debe buscar que los diseñadores produzcan mejores esquemas de diseño, los cuales puedan ser trabajados por los contratistas especialistas para la producción de los detalles para la construcción. La temprana participación de los contratistas especializados en la etapa de diseño de la piscina techada permitió obtener mejores esquemas de diseño de los diseñadores; ya que, estos fueron revisados por los contratistas especializados quienes mediante sus opiniones y sugerencias, las cuales fueron tomadas en cuenta en el diseño, minimizaron la necesidad de cambios en etapas posteriores.

Un buen diseño es aquel que no solo satisface las necesidades del cliente al corto plazo sino que además satisface los requerimientos de este al largo plazo. Funcionalidad enfocada a la productividad, flexibilidad, seguridad, fácil mantenimiento, conservación del medio ambiente y constructabilidad son las principales características que debe poseer un diseño adecuado. Un diseño exitoso es aquel que encuentra el balance entre la satisfacción de las necesidades del cliente, de los usuarios y de los demás involucrados en el proyecto, cumple con los códigos y normas vigentes y en el cual las diferentes especialidades se complementan entre sí para trabajar como una unidad al más bajo costo y cuyo tiempo de implementación sea el menor posible.

Debido a que la principal actividad durante la etapa de diseño es la producción de información, esta debe ser controlada eficientemente. La gerencia del diseño debe elaborar un plan y producir un programa que sirvan como guía y herramienta de control para el equipo de diseño, respectivamente. Además, debe garantizarse la oportuna transferencia de la información entre los involucrados y la calidad de la información compartida. Un proceso de coordinación de la información permanente debe ser implementado y evitar que la compatibilización de los planos y especificaciones sea una actividad aislada. Si bien el proceso de compatibilización implementado en el proyecto de la piscina fue simple, basado en la inspección visual de los documentos de las distintas especialidades, fue suficiente para garantizar que no se produjeran presupuestos adicionales o retrasos durante la construcción.

La gerencia del diseño debe dar gran importancia al control permanente de los cambios que se produzcan en el diseño y a la evaluación de los efectos que estos generen en el proyecto. Además, los problemas que se generen en el proyecto deben ser confrontados para que se encuentren las mejores soluciones para estos.

El costo de un proyecto de construcción debe ser tratado como una restricción para el diseño y no como una consecuencia de él. Para esto debe emplearse la metodología de Diseñar al costo, mejorándola según las experiencias y los resultados que se obtengan en los proyectos. Los costos deben ser tratados de una manera ordenada mediante el empleo de un Modelo de costo cuya estructura sea estandarizada para que la información producida en un proyecto pueda ser tomada como referencia para otro proyecto, sin que se produzcan errores por definiciones deficientes o asunciones incorrectas. El empleo de un modelo de costos en base a una estructura estándar de los elementos de la edificación en el proyecto de la piscina permitió obtener una mejor definición de lo contenido en cada costo. Además, esto se complementó con la Descripción Preliminar del Proyecto en donde se definieron los principales requerimientos técnicos que cada elemento debía satisfacer. Esta información ordenada y claramente definida podrá ser empleada como referencia en proyectos futuros.

La metodología de la Gerencia del Valor (Value Management) permite obtener mayor valor para la inversión del cliente. En la etapa de diseño el Taller de las 40 horas es la principal herramienta aplicable, la cual pertenece a la metodología de Ingeniería del Valor (Value Engineering), la cual a su vez pertenece a la metodología de la Gerencia del Valor. La aplicación de esta herramienta en el proyecto de la piscina permitió reducir costos mediante la incorporación de soluciones alternativas en el diseño.

Finalmente, un proceso de retroalimentación constante debe ser implementado en toso los proyectos, mediante el cual se aprenda de los errores cometidos en los proyectos y se evite cometer los mismos errores en proyectos futuros.

## 9.2 Recomendaciones

La propuesta del proceso de gerencia del diseño expuesta en esta tesis no debe verse como la aplicación de un determinado número de pasos y actividades a realizar similarmente en todos los proyectos. El gerente de diseño o el diseñador deberá seleccionar las prácticas y herramientas que crea que se ajusten a las características de un determinado proyecto.

El proceso de Gerencia del diseño con valor debe ser modificado y actualizado según las experiencias que se vayan obteniendo en los proyectos de construcción. Este proceso no debe verse como un resultado final sino como la base para investigaciones futuras.

Finalmente, se recomienda la investigación en cada uno de los temas específicos relacionados a la gerencia del diseño y su publicación para que pueda ser conocida, aplicada y discutida por los profesionales del medio en proyectos reales con el objetivo de producir una sólida base teórica comprobada para la práctica profesional.





ANEXO 01 CHECKLIST # 01: MEDIO AMBIENTE		Código del proyecto:
Proyecto :		Fecha:
1	Propiciar un desarrollo sostenido con la ubicación del proyecto (Atracción de nuevos proyectos en la zona)	<input type="checkbox"/>
2	Ubicar adecuadamente la edificación para evitar el uso de transporte	<input type="checkbox"/>
3	Minimizar el consumo de energía	
3-a	Aprovechar la luz natural	<input type="checkbox"/>
3-b	Aprovechar el calor natural	<input type="checkbox"/>
3-c	Utilizar la masa de la estructura como material aislante (A mayor masa mayor aislamiento)	<input type="checkbox"/>
3-d	Utilizar materiales aislantes (Evitar contaminación del entorno)	<input type="checkbox"/>
3-e	Utilizar sistemas de aire acondicionado, calefacción y ventilación que consuman poca energía	<input type="checkbox"/>
3-f	Ubicar adecuadamente los sistemas de aire acondicionado (Especialmente las tomas de aire fresco)	<input type="checkbox"/>
3-g	Proveer acceso para el mantenimiento y la limpieza de los sistemas de HVAC	<input type="checkbox"/>
3-h	Proveer controles de fácil acceso para los usuarios de los sistemas de HVAC	<input type="checkbox"/>
3-i	Utilizar sensores en los sistemas de luz y HVAC	<input type="checkbox"/>
3-j	Fomentar el uso de escaleras	<input type="checkbox"/>
4	Minimizar el consumo de agua	
4-a	Utilizar tanques para el aprovechamiento de aguas de lluvias	<input type="checkbox"/>
4-b	Reutilizar aguas en el sitio	<input type="checkbox"/>
4-c	Emplear aparatos sanitarios que propicien el ahorro de agua	<input type="checkbox"/>
5	Emplear aislamiento acústico	<input type="checkbox"/>
6	Plantar árboles y la mayor cantidad de áreas verdes	<input type="checkbox"/>
7	Evitar el empleo de materiales peligrosos y contaminantes (Investigar propiedades)	<input type="checkbox"/>
8	Utilizar materiales reciclados para la construcción	<input type="checkbox"/>
9	Tomar en cuenta métodos sostenibles de construcción	<input type="checkbox"/>
10	Tomar en cuenta la demolición y reciclaje de la edificación	<input type="checkbox"/>
Notas:		
<hr/>		

	<b>ANEXO 02 CHECKLIST # 02: CONSTRUCTABILIDAD</b>	Código del proyecto:
Proyecto :		Fecha:

**Etapa de concepción**

- 1 Un programa formal de constructabilidad es implementado como parte del plan de ejecución del proyecto.
- 2 El conocimiento y la experiencia en construcción están incluidos en el planeamiento inicial del proyecto
- 3 Personal de construcción participa en el desarrollo de la estrategia de contratación del proyecto.
- 4 Los cronogramas del proyecto toman en cuenta los requerimientos constructivos.
- 5 Los alcances básicos del diseño consideran los principales métodos constructivos como la modulación y la prefabricación.
- 6 La configuración del sitio promueve la eficiencia constructiva.
- 7 Los integrantes del equipo del proyecto responsables de la constructabilidad son identificados al inicio del proyecto
- 8 Tecnología avanzada de la información es empleada.

**Etapa de diseño y licitación**

- 9 Los cronogramas de diseño y contratación toman en cuenta los requerimientos constructivos.
- 10 El diseño fomenta la eficiencia constructiva considerando aspectos como la simplicidad, flexibilidad, secuencia de instalación y la habilidad y disponibilidad de la mano de obra.
- 11 Los elementos de diseño son estandarizados incluyendo el máximo uso de los estándares de los fabricantes y componentes estandarizados.
- 12 La eficiencia constructiva es considerada en el desarrollo de las especificaciones incluyendo una revisión de los espacios por el personal de construcción.
- 13 El diseño toma en cuenta la modulación y la prefabricación para facilitar la fabricación, el transporte y la instalación
- 14 Los diseños favorecen la accesibilidad de personas, materiales y equipos en el sitio
- 15 El diseño facilita la construcción en climas adversos.
- 16 La secuencia de diseño y construcción facilita el inicio y la operación del sistema

**Etapa de construcción**

- 17 Métodos constructivos innovadores son aplicados como la innovación de las secuencias de las tareas de campo, el uso de sistemas temporales de construcción o el uso de equipo de construcción innovador.

Notas: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Desarrollado de los Principios de Constructabilidad del Construction Industry Institute (CII) Fuente: Jergeas *et al.* (2001)

ANEXO 03 FORMATO DE TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN		CÓDIGO DEL PROYECTO:																					
PROYECTO:	FECHA:																						
ETAPA DEL PROYECTO:																							
ESPECIALIDAD:																							
<b>Alcance del trabajo</b>																							
<hr/> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>																							
<b>Decisiones relevantes</b>																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Tema</th> <th style="width: 20%;">Fecha</th> <th style="width: 30%;">Estado</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>			Tema	Fecha	Estado																		
Tema	Fecha	Estado																					
<b>Informacion para ser mandada al contratista especialista</b>																							
	Fecha requerida																						
1 _____	_____																						
2 _____	_____																						
3 _____	_____																						
4 _____	_____																						
<b>Informacion requerida del contratista especialista</b>																							
	Fecha requerida																						
1 _____	_____																						
2 _____	_____																						
3 _____	_____																						
4 _____	_____																						
<b>Responsables de la coordinacion</b>																							
Nombre: _____	Especialidad: _____	Contacto: _____																					
Nombre: _____	Especialidad: _____	Contacto: _____																					
<b>Programa de la especialidad</b>																							
Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Fechas importantes															
Planos																							
Especificaciones																							
Concurso																							
Adjudicacion																							
Entrega																							
Aprobacion del diseno																							
Ensayos																							
Construccion																							



ANEXO 05		Código del proyecto:	
CHECKLIST # 03: COMPONENTES PARA ESTIMACIONES		Fecha:	
Proyecto :			
CODIGO	NIVEL 1	NIVEL 2	
A	SUBESTRUCTURA	A10 Cimentaciones	<input type="checkbox"/>
		A20 Sótanos	<input type="checkbox"/>
B	CASCO	B10 Superestructura	<input type="checkbox"/>
		B20 Cerramiento exterior (Inc. Acabados exteriores)	<input type="checkbox"/>
		B30 Techo de cobertura	<input type="checkbox"/>
C	INTERIORES	C10 Construcciones interiores	<input type="checkbox"/>
		C20 Escaleras	<input type="checkbox"/>
		C30 Acabados interiores	<input type="checkbox"/>
D	SERVICIOS	D10 Transporte y elevadores	<input type="checkbox"/>
		D20 Instalaciones sanitarias	<input type="checkbox"/>
		D30 Ventilación, calefacción y aire acondicionado	<input type="checkbox"/>
		D40 Protección contra incendios	<input type="checkbox"/>
		D50 Instalaciones eléctricas	<input type="checkbox"/>
E	EQUIPAMIENTO Y MOBILIARIO	E10 Equipos	<input type="checkbox"/>
		E20 Mobiliario	<input type="checkbox"/>
F	CONSTRUCCIONES ESPECIALES Y DEMOLICIONES	F10 Construcciones especiales	<input type="checkbox"/>
		F20 Demolición	<input type="checkbox"/>
G	TRABAJOS EN SITIO	G10 Preparación del sitio	<input type="checkbox"/>
		G20 Mejoramiento del sitio	<input type="checkbox"/>
		G30/G40 Instalaciones provisionales para la construcción	<input type="checkbox"/>
		G90 Obras provisionales para la construcción	<input type="checkbox"/>
ZA	UTILIDAD Y GASTOS GENERALES EN CONSTRUCCIÓN	ZA10 Utilidad	<input type="checkbox"/>
		ZA20 Gastos generales	<input type="checkbox"/>
ZB	DISEÑO	ZB10 Arquitectura	<input type="checkbox"/>
		ZB20 Estructuras	<input type="checkbox"/>
		ZB30 Instalaciones sanitarias	<input type="checkbox"/>
		ZB40 Instalaciones mecánicas y eléctricas	<input type="checkbox"/>
		ZB50 Otras especialidades	<input type="checkbox"/>
ZC	CONTINGENCIAS	ZC10 Contingencias	<input type="checkbox"/>
Notas:			
<hr/>			

Fuente: Desarrollado de UNIFORMAT II (ASTM E1557-05, 2005)

ANEXO 06 MODELO DE COSTOS						Código del proyecto:						
Proyecto:						Fecha:						
Etapa del proyecto:				Fecha de actualización:								
<b>Parcial</b>	+	<b>Contingencia</b>	+	<b>Gastos Generales y Utilidad</b>	+	<b>Ajuste</b>	=	<b>Sub-total</b>	+	<b>IGV</b>	=	<b>TOTAL</b>
[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		[ ]
<b>G. Trabajos preliminares</b>		<b>F Construcciones Especiales y Demoliciones</b>		<b>A Subestructura</b>		<b>B Cobertura</b>		<b>C Interiores</b>		<b>D Instalaciones</b>		
[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		
G10-G20 Preparación y mejoramiento del terreno		F10 Construcciones Especiales		A10 Cimentación		B10 Superestructura		C10 Construcciones interiores		D20 Instalaciones sanitarias		
[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		
G30- G40 Instalaciones provisionales		F20 Demoliciones		A20 Sótanos		B20 Cobertura exterior		C20 Escaleras		D30 Aire acondicionado		
[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		[ ]		
G90 Otros trabajos						B30 Techo		C30 Acabados interiores		D40 Protección contra incendios		
[ ]						[ ]		[ ]		[ ]		
										D50 Instalaciones eléctricas		
										[ ]		
										[ ]		
<b>Modelo de costos</b>												

Fuente: El Autor

