

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE

FACULTAD DE INGENIERÍA



TRABAJO FINAL

# **INTRODUCCIÓN AL PROYECTO DE INGENIERÍA**

AUTOR:

**GOLDSCHMIDT, Pablo**

**2000**

## CAPITULO I: INTRODUCCION AL PROYECTO DE INGENIERÍA

### I.1 - Problemas y su proceso de resolución

#### I.1 .1 - Nociones generales

Un problema consiste en una cuestión que se debe resolver por medio de un procedimiento que estimamos adecuado. En todo problema hay un estado inicial de cosas que podemos designarlo como A (cuyos datos son conocidos), y otro estado al que trata de llegar quien busca resolverlo, al que podemos denominar B.

Esto ocurre con independencia del tipo de problema y la obtención de una solución es el medio para lograr la transformación deseada.

Resulta interesante, en forma previa al estudio de los problemas de la ingeniería, un conocimiento somero de algunas técnicas de gestión empleadas por grupos o equipos encargados de la resolución de problemas en distintas actividades (comerciales, comunicación, administración, etc.).

En el diagrama de la figura I.1 podemos ver las secuencias para abordar los problemas y la solución a los mismos.

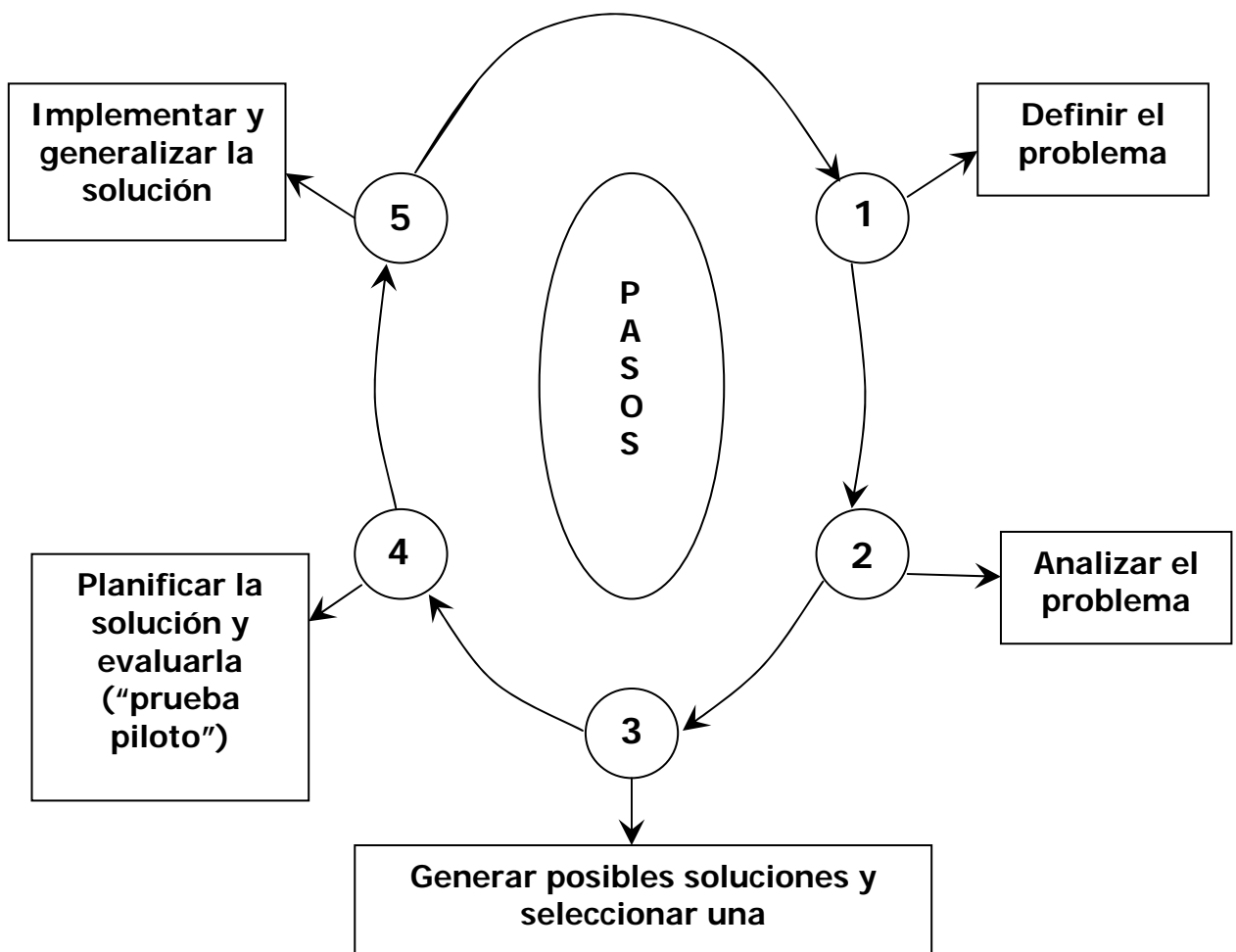


Fig. I.1. – Proceso de resolución de problemas



### **1. Definir el problema**

Precisar claramente el problema y formularlo de tal manera que sea entendido por todos los miembros del equipo, estableciendo cual es el "estado deseado" que se quiere alcanzar al solucionar el problema.

### **2. Analizar el problema**

Documentar el proceso actual, seleccionar y recopilar los datos que se consideren necesarios para analizar el problema e identificar las causas principales del mismo.

### **3. Generar posibles soluciones y seleccionar una**

En este paso debemos concebir distintas soluciones al problema y que ellas sean factibles, para después elegir la solución que el equipo considere más apropiada recomendando la implementación de la misma.

### **4. Planificar la solución y realizar una "prueba piloto"**

La planificación consiste en determinar las cosas que se deben hacer para alcanzar la solución al problema, quien las hará, con qué medios, en qué tiempo, etc. y verificar mediante una "prueba piloto" si la solución elegida es la adecuada, haciendo en dicha prueba, diversos ajustes si ellos fueran necesarios.

### **5. Implementar y generalizar la solución**

El propósito de esta secuencia es asegurar, luego de que la solución se concrete, que ella pueda utilizarse en otros sectores con problemática similar, dentro del tipo de actividad que se ha considerado.

A los efectos del análisis de los problemas existen numeras técnicas que pueden resultar eficaces para abordar dicha tarea, pero nos limitaremos a exponer brevemente solo dos de ellas.

## **I.1.2. Brainstorming (tormenta de ideas)**

Es una técnica para dinámica de grupos y fue concebida por Alex Osborn de la Universidad de Búfalo como método para evitar los bloqueos que frenan la creatividad en las personas. Está basada en posponer el juicio crítico y favorecer la generación de numerosas ideas (aunque algunas parezcan absurdas), en un tiempo reducido.

El grupo que analiza las eventuales soluciones de un problema debe respetar principalmente cuatro consignas:

#### **a) No se permite la crítica**

Esto significa que no se debe enjuiciar o valorar las ideas de los demás hasta que se hayan producido todas, por lo que las críticas se deben postergar. Este aplazamiento del juicio es condición fundamental para que las ideas se generen.

#### **b) Libre imaginación**

Los aportes de todos los participantes son bien recibidos; ideas que aparentemente no son aplicables pueden crear otras interesantes y muchos problemas se resuelven modificando ideas atrevidas o arriesgadas.

#### **c) La cantidad se privilegia sobre la calidad**

Si el número de ideas es elevado resulta posible encontrar entre las mismas "buenas ideas". Osborne comprobó que las mejores que se presentan en una sesión, aparecen más tarde.

d) Basarse en las ideas de los demás para mejorarlas

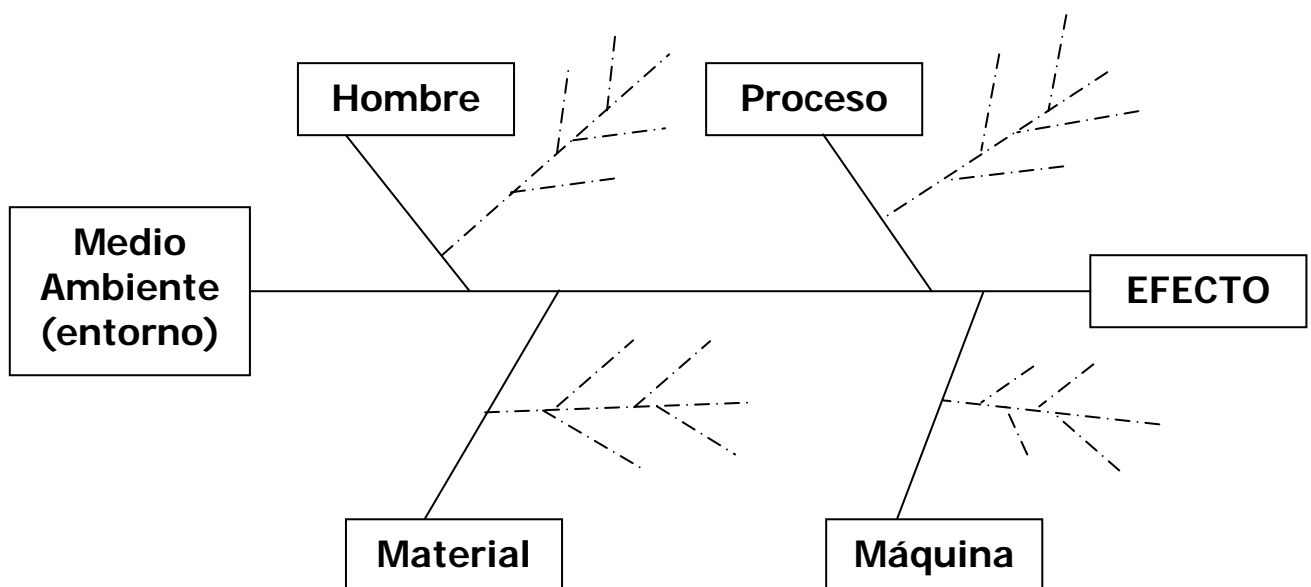
Los participantes además de aportar sus propias ideas pueden sugerir formas de mejorar las de los demás, o agrupar varias de las expuestas en una sola. Esto tiende en general, a estimular la asociación de ideas.

Algunos consejos para realizar una sesión de Brainstorming son los siguientes:

- ✓ el grupo ideal para sesión oscila entre 6 y 10 personas, es conveniente evitar jerarquías y no importa las especialidades, sexo, edades, etc. de los integrantes.
- ✓ el problema debe ser específico, único y conocido por los participantes
- ✓ se necesita a los efectos de desacondicionar y desinhibir al grupo un "facilitador", del que dependerá en gran parte el éxito de la sesión.
- ✓ el tiempo a emplear en una sesión puede variar entre 30 y 45 minutos y no sobrepasar una hora
- ✓ atendiendo a su evaluación posterior, las propuestas deben ser registradas, dicha evaluación puede realizarse por el mismo grupo o preferentemente por otro distinto en otra sesión.

### I.1.3. Diagrama de Ishikawa

Este diagrama se denomina también de causa-efecto o de Espina de Pescado





Consejo para la construcción del diagrama de Ishikawa

- a) Es necesario asegurarse que todos los miembros del equipo están de acuerdo con la formulación del problema
- b) Si las ideas tardan en aparecer se puede emplear una categoría como catalizador. Por ejemplo: ¿qué fallas relacionadas con el proceso pueden originar el efecto planteado (problema o deficiencia a solucionar)
- c) Utilizar la menor cantidad de palabras posibles

## ***1.2. Proyecto de Ingeniería***

### **1.2.1. Nociones generales**

Un proyecto en general puede estar motivado en razones económicas, sociales, culturales etc. y puede no corresponder a la ingeniería por cuanto no requiere la creación de un bien físico de producción o de uso.

La aceptación usual del término proyecto es que este consiste en desarrollar en el futuro una idea y podríamos tener enfoques diversos de acuerdo al punto de vista de partida. Por ejemplo, en la actividad económica sería el conjunto de antecedentes que permite estimar las ventajas y desventajas que se derivan de asignar recursos para la producción de determinados bienes o servicios y está asociado a la idea de desarrollo económico; para un inversionista es una idea de inversión y su estudio completo incluye la información técnica, económica y financiera para concretarlo, y está vinculado a la idea de rentabilidad.

En ingeniería se dice que el proyecto es el conjunto de cálculos, especificaciones y dibujos que sirven para construir un aparato o un sistema, pero el concepto debe ser más amplio, describiendo las tareas que demanda la ejecución de un proyecto que van desde la toma de conocimientos de una necesidad que constituye un problema de ingeniería hasta la obtención de una solución apropiada, que da origen a la creación de un sistema físico inexistente y necesario para resolver el problema planteado.

Podríamos definir entonces que proyectar, en ingeniería, es un procedimiento general que se emplea para la solución de un problema que satisfaga una necesidad con el aprovechamiento óptimo de recursos naturales, aplicando para ello conocimientos científicos y tecnológicos con metodologías particulares, desarrollando así un trabajo creativo que se materializa en un conjunto de planos, especificaciones e instrucciones que permiten la realización de la solución recomendada.

El proyecto es una actividad Única puesto que los criterios, cálculos y especificaciones que sirven para obtener un sistema o un mecanismo, no se utilizarán en su forma original para otro proyecto; (el proyecto de la estructura de un edificio difiere de la de otro edificio), también se dice que es una actividad cíclica porque se repite muchas veces con el fin de alcanzar el objetivo propuesto.

Por ejemplo sería casi imposible obtener el proyecto óptimo de un generador de vapor después del primer análisis de las necesidades que deben satisfacerse.

El proceso se repite una y otra vez para ir modificando cierto elemento del conjunto mientras los demás elementos se mantienen constantes. De esa manera se logra un mejor proyecto que satisfaga las necesidades hasta alcanzar el punto óptimo.

La condición necesaria para la realización de un proyecto de ingeniería es, que sea "factible", es decir que pueda satisfacer las viabilidades técnica, económica, financiera,



política y social, ya que un proyecto no constituye un problema ideal sino que debe concretarse en un bien tangible.

Hemos mencionado el término sistema sin definirlo, por lo que debemos aclarar que se lo interpreta desde el punto de vista del proyecto de ingeniería como un conjunto ordenado de elementos que funcionan en forma coordinada para lograr un fin. Así un automóvil es un conjunto de mecanismos que funcionan para lograr la locomoción; un puente es un conjunto de estructuras para poder cruzar de un lado al otro un río, un sistema biela-manivela transforma un movimiento rectilíneo en otro rotativo (o viceversa). Estos sistemas son simples pero pueden ser bastante complejos como una industria siderúrgica, un plan de electrificación regional, etc.

Cuando se trata de un proyecto o programa de desarrollo económico, se habla de "Ingeniería del Proyecto" para referirse a la parte del mismo que se relaciona con su fase tecnológica, es decir con la participación de los ingenieros en las etapas técnicas del programa, designándose en cambio "Economía del Proyecto" a la fase que comprende el aspecto económico-financiero.

## **I.2.2. Etapas de un Proyecto**

En general todo proyecto pasa por las siguientes etapas, en mayor o menor grado, según su naturaleza, tamaño y complejidad.

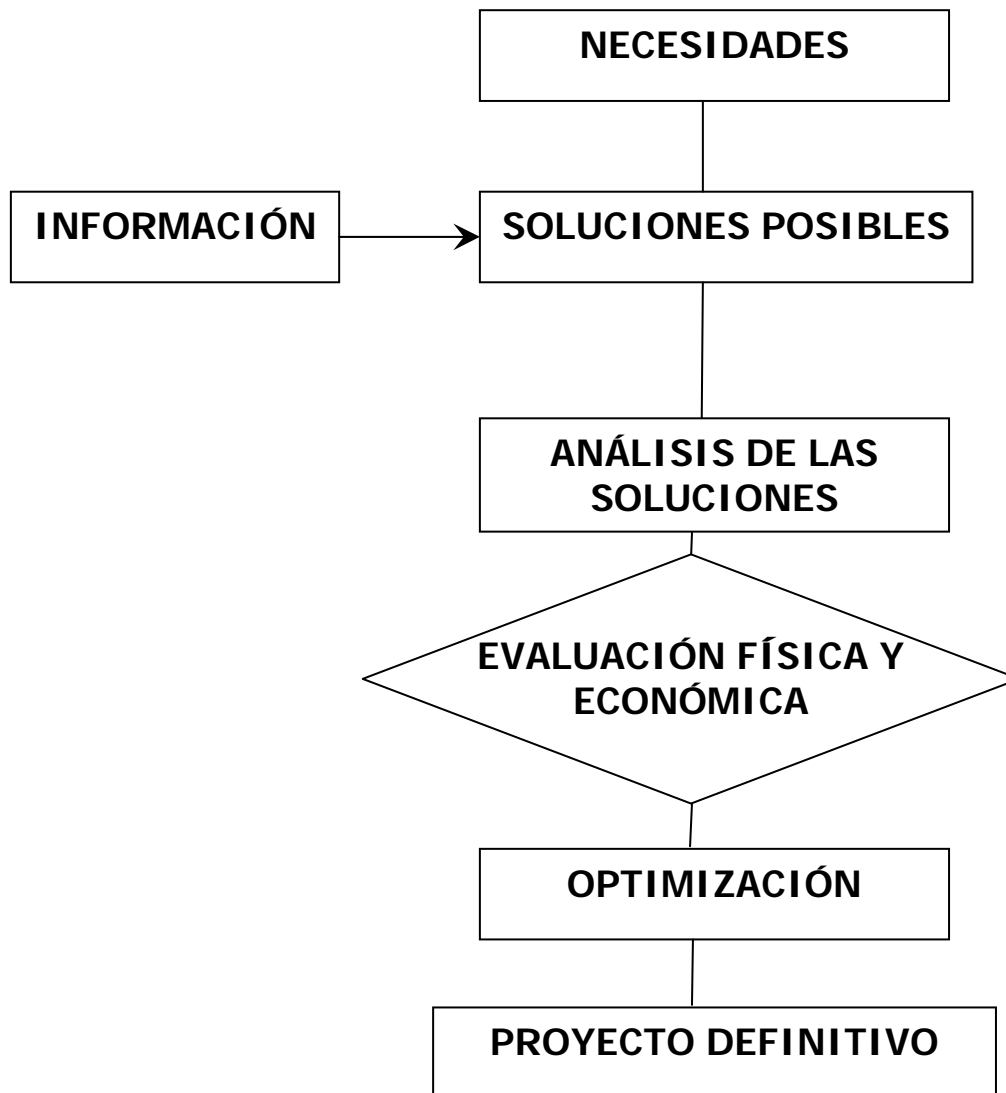
- Definición de la necesidad que dará origen al proyecto
- Preparación del estudio de factibilidad o anteproyecto
- Proyecto ejecutivo o definitivo
- Programación, ejecución y puesta en servicio

En el estudio preliminar y en el de factibilidad o anteproyecto, prevalece en general el aspecto económico, mientras que en el proyecto definitivo es de mayor importancia el aspecto tecnológico.

Durante el curso desarrollaremos la metodología para abordar las distintas etapas.

## **I.2.3. Características de un proyecto**

Las características básicas de un proyecto pueden ser resumidas mediante el siguiente diagrama de flujo:



Analizaremos los pasos del mismo:

1º) Necesidades: estas surgen de la sociedad y tienen por objeto satisfacer la misma o solucionar un problema. Un estudio de mercado o una tendencia identificada por un ingeniero son el punto inicial de un proyecto. Es importante cuantificar estas necesidades porque la ingeniería está sometida a un criterio económico y una falsa identificación puede originar soluciones que provoquen un fracaso económico.

2º) Información: es imprescindible la búsqueda de información, cuanto mayor y de mejor calidad es la información mejor será el resultado. Hay un axioma de ingeniería que se puede simbolizar en cuatro letras E B S B cuyo significado es: "Si Entra Basura - Sale Basura" que indica la validez de los resultados en base a la información obtenida.

3º) Soluciones: conocida la necesidad y con la información acumulada se elaboran las distintas soluciones que resulten posibles.

4º) Análisis de las soluciones: es el primer proceso de eliminación de posibles soluciones. En base a criterios establecidos se seleccionan las soluciones que mejor se adapten a la satisfacción de la necesidad o solución del problema.

5º) Evaluación física y económica: la evaluación física de un proyecto nos permite la elección de aquellas soluciones que puedan ejecutarse con la tecnología y materiales disponibles. La evaluación económica nos permite determinar los recursos necesarios y su distribución en el tiempo para la concreción del proyecto y si este tiene justificación económica, si ese es el objetivo.

6º) Optimización: el proceso por el cual se obtiene la mejor solución posible se llama optimización, o el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles para satisfacer la necesidad.

7º) Proyecto definitivo: determinada la mejor solución se procede al proyecto definitivo que estará compuesto de planos detallados, cálculos, especificaciones y el estudio económico con las Erogaciones necesarias y su financiamiento y la rentabilidad económica o social del proyecto.

Existen dos clases de proyectos:

- a) los que se ejecutan una vez, ejemplo obras civiles, puentes, muelles, etc.
- b) los que se producen una cantidad ilimitada de veces, ejemplo automóviles elementos prefabricados en la industria de la construcción, etc.

Según sea uno u otro, el proyecto definitivo variará. En el primer caso no puede hacerse un prototipo y efectuar sobre él pruebas para mejorarlo.

Ejemplo: Proyecto de un complejo de 2000 viviendas.

Determinada la necesidad se procede a buscar las informaciones de los posibles lugares de asentamiento, superficie del terreno, costo del mismo, existencia de infraestructura, vinculación a la zona desde distintos lugares de la ciudad y distancia a los lugares de trabajo.

Las distintas alternativas, viviendas individuales ó monoblocks, la posibilidad de subdividirlo en varios conjuntos de viviendas o uno Único; la proximidad a centros comerciales, educativos o asistenciales.

Las alternativas son realizadas empleando la prefabricación o construcción "in situ".

Se debe analizar los intereses que puede afectar el proyecto.

Se deberán realizar diversos estudios técnicos indicándose alguno de ellos:

- a) topográficos para determinar los niveles a dar a las viviendas, calles, redes de suministro de servicio público, etc.
- b) del subsuelo para determinar las cimentaciones que las diversas construcciones requieran.
- c) mecánicos para los sistemas de abastecimiento de agua, o retiro de aguas servidas, escurrimiento forzado de las aguas de lluvias, etc.
- d) eléctricos para la iluminación exterior del conjunto e interior de cada vivienda
- e) para redes de gas (eventual instalación de gasómetros).

Todos estos elementos deben conjugarse para obtener el diseño óptimo considerando siempre los criterios económicos y sociales que intervienen en el emprendimiento.

Lo expuesto indica también la necesaria participación de diversas especialidades de la ingeniería y del trabajo en equipo.



#### **I.2.4. Tareas complementarias a la Ingeniería del Proyecto**

La tarea de la oficina de proyectos no se limita a la elaboración de la solución del problema requerido, confección de planos y especificaciones sino que suele participar en la justificación económica del proyecto.

El proyectista debe tener conocimiento de los métodos de justificación económica para:

1) Saber que antecedentes y datos incluir en el informe de la ingeniería del proyecto atendiendo a que son necesarios para la evaluación.

La oficina de proyectos debe realizar los cálculos, cálculos y estimaciones según los criterios usuales, a fin de presentarlos a quien tiene la responsabilidad de preparar la justificación económica del proyecto.

2) En proyectos menores y en empresas u organismos donde no existe una subdivisión amplia de funciones, el proyectista debe efectuar también la tarea de justificación económica, para presentar el conjunto de proyecto y la justificación, a la autoridad que debe decidir si lo realiza.

Otras de las tareas que con frecuencia debe realizar el proyectista, o en las cuales participa, son:

- Preparación de especificaciones para el llamado a concurso de precios.
- Selección de proveedores.
- Análisis de precios y comparación de ofertas.

El conocimiento completo del proyecto hace que sea el más indicado para cumplir con esas tareas.

Por la misma razón, participa en general de:

- Planificación integral del proyecto.
- Programación de la ejecución de la obra.
- Instrucciones operación y mantenimiento de la planta.

En proyectos de importancia, la oficina de ingeniería de proyectos, durante la ejecución de las obras, delegará un "Proyectista Representante en Obra", quien estudiará y resolverá, de acuerdo con el director de obra sobre los problemas técnicos que se presenten y que signifiquen modificación en obra de la ingeniería del proyecto. Estas modificaciones pueden ser originadas por cambios que facilitaran los trabajos, interferencias, dificultades o imposibilidades de ejecución.

Este delegado, además, colaborará en las pruebas y puesta en marcha, tomará nota para hacer los planos conforme a la obra, cierre de legajo y envío al archivo.

## **CAPITULO II: CONDICIONES Y CARACTERÍSTICAS DEL INGENIERO PROYECTISTA**

Es difícil lograr una plena apreciación del papel que desempeña la ingeniería si no se comprende la diferencia fundamental entre la ciencia y la ingeniería que difieren en los procesos básicos característicos de cada una; (investigación versus proyecto) y en el producto final primario (conocimiento versus obras o dispositivos físicos).

En la realización del proyecto, el ingeniero se enfrenta a aspectos económicos, de tiempo, de aceptación por parte de los interesados o usuarios y de factibilidades para materializarlo. Por el contrario, el científico o el ingeniero que realiza investigación se preocupa por la validez de sus teorías, por la reproductibilidad de sus experimentos y por encontrar los métodos que resulten más adecuados para observar los fenómenos físicos, químicos y naturales.

El ingeniero por medio del proyecto crea un bien físico que no existe y que es necesario y el investigador consagra sus esfuerzos a la ampliación del conocimiento. Como ejemplo, los físicos descubrieron y entendieron la fusión nuclear en el decenio 1930-1940, y la aplicación de esos conocimientos en el proyecto de los reactores nucleares es un logro de la ingeniería obtenido varias décadas después.

Por limitaciones de tiempo el proyectista reduce generalmente el estudio suplantándolo por criterio, y en cambio el investigador busca la rigurosidad sin esa limitación. Cuando se efectúa un proyecto se fija previamente un monto para su realización el cual no debe ser superado, en cambio la limitación del importe adjudicado a una investigación no es lo usual y las asignaciones pueden ser fácilmente renovables o se amplían.

Este condicionamiento hace que el proyectista busque las soluciones que parezcan más ventajosas según su criterio.

El proyectista se ve enfrentado en muchas oportunidades con objetivos contradictorios, por ejemplo cuando se requiere un auto veloz y de bajo consumo; una estructura para puentes con grandes vanos entre apoyos con un costo que sea del orden del de una de tramos más reducidos de similar ancho y longitud, etc.

En estos casos se deberá buscar una solución de compromiso o soluciones diversas que deberán ser evaluadas, en forma previa a que el sistema esté construido y en funcionamiento.

El riesgo económico es otra de las contingencias que debe encarar el proyectista y este se presenta por diferencias entre el importe previsto en el proyecto para una obra y el costo real de la misma cuando se ejecuta.

El proyectista realiza un trabajo creativo pero no necesariamente original pero ello no quita que a veces, un proyecto pueda dar origen a una invención.

El ingeniero, al desarrollar un proyecto lo hace mediante la aplicación de sus conocimientos, la habilidad para solucionar problemas, su criterio y su particular punto de vista.

Como consecuencia de la diversidad de conocimientos que requieren los distintos problemas que se plantean en la ingeniería que abarcarán áreas diferentes (civil, mecánica, etc.) en conjunto con los adelantos tecnológicos que se producen rápidamente determinan gran número de especialidades en la profesión.

Independientemente de la especialidad, todos los proyectos deben tener las mismas habilidades básicas, ya que en cualquier caso al desarrollar la ingeniería de un proyecto, debe crear un sistema físico que permita transformar los recursos materiales, energéticos,

humanos o de información, en otra forma que resulte útil para satisfacer una necesidad.

El proyectista debe conocer el medio o entorno en el que se origina el problema, establecer con claridad las metas que propone conseguir, la bibliografía adecuada para el conocimiento del estado actual del tema de proyecto, definir un modelo del problema, buscar las soluciones factibles y saber aplicar criterios de selección para luego desarrollar en detalle la ingeniería de la solución adoptada.

Las cualidades fundamentales que caracterizan a un proyectista competente de cualquier especialidad son:

- Conocimiento científico y tecnológico
- Manejo apropiado de la bibliografía
- Capacidad para resolver problemas
- Criterio, razonamiento lógico y comprensión
- Empleo de métodos apropiados

### **Conocimiento científico y tecnológico**

La educación formal de un estudiante de ingeniería está dedicada al conocimiento de las ciencias física y matemática, y estas ciencias son la base sobre la que descansa la tecnología.

La formación de un proyectista requiere no solo un conocimiento de las ciencias básicas, sino también de la tecnología, la que podemos definir como, la aplicación a la industria de las ciencias matemáticas, físicas, químicas y naturales. La correcta aplicación de las ciencias básicas a los problemas del mundo real exige saber a que conocimientos recurrir y como deben ser éstos aplicados en cada caso.

Las materias tecnológicas son las que brindan respuesta a dichos interrogantes.

A su vez, a lo anterior se incorpora la acumulación de conocimientos empíricos obtenidos mediante la experiencia, conocimientos que se obtienen gracias a la práctica y a la experimentación, que consiste en la prueba práctica de una cosa realizada en forma metódica.

El gran avance tecnológico es inseparable de la acumulación de datos resultantes de los experimentos. Muchas ideas y reglas prácticas obtenidas de ensayos, observaciones y comprobaciones sobre sistemas reales construidos han llegado a ser de uso general y aún obligatorias, encontrándose en códigos, normas y reglamentaciones que a veces resultan parcial o totalmente empíricos.

La mayoría de los problemas que dan origen a los proyectos requieren conocimientos de dos o más especialidades obligando no solo a que el proyectista deba trabajar con ingenieros de otras especialidades sino también a la aplicación de tecnologías de otras ramas de la ingeniería.

En el desarrollo de un proyecto surge también en la necesidad de conocer criterios relacionados con la actividad económica (costos, utilidades, relaciones entre precio y demanda, depreciación, rédito de la inversión, etc.), así como Seguridad e Higiene Industrial, Relaciones Laborales, Derecho, etc. Estos aspectos deben ser conocidos en un orden general con la terminología usual, a fin de poder comunicarse con los especialistas sin dificultades.

### **Manejo apropiado de la bibliografía y actualización**

Antes de iniciar las etapas de un proyecto, el encargado del mismo deberá efectuar la búsqueda de antecedentes y de la bibliografía adecuada.

Se requiere normalmente gran cantidad de datos que se utilizarán en el trabajo, los que pueden ubicarse en manuales, libros, revistas especializadas, publicaciones de congresos, catálogos técnicos, catálogos y folletos comerciales, etc. Considerando la inmensa capacidad de información que proporciona en la actualidad la red de comunicación



electrónica mundial (Internet), su empleo es sumamente conveniente en la obtención de datos.

Las fuentes de información que podemos citar son:

Organismos gubernamentales, donde se podrá obtener datos climatológicos, hidráulicos, estadísticos, censales, normas, reglamentos, leyes, decretos, ordenanzas, códigos.

- Cámaras o asociaciones industriales y comerciales.
- Universidades.
- Institutos de investigación.
- Banco de datos.

La búsqueda bibliográfica metódica consiste en la reunión sistemática y ordenada de datos impresos.

Es útil el manejo de la técnica de fichas para facilitar el ordenamiento de la información y el trabajo de síntesis. La búsqueda bibliográfica se orientará en dos sentidos:

- Completar los conocimientos sobre el estado actual del proyecto (se recurre a libros de textos recientes y publicaciones especializadas).
- Buscar datos e información técnicas para el desarrollo del proyecto (estudios efectuados sobre el mismo tema, recolección de datos, hechos y experiencias relacionadas directamente con el problema o con otros similares).

### **Capacidad para resolver problemas**

Para solucionar adecuadamente los problemas que dan origen a los proyectos y a los que se presenten durante su desarrollo, el ingeniero deberá además de su conocimiento de las técnicas de representación y cálculo desarrollar habilidades (principalmente mentales) y de creación o inventiva.

Durante la etapa de estudios universitarios la capacidad creadora es empleada en forma reducida ya que por razones de tiempo los problemas que deben resolverse son acotados de tal forma que admiten una sola solución.

Para resolver los problemas tecnológicos que requiere el desarrollo de un proyecto que admite numerosas soluciones, se debe emplear un razonamiento lógico y una mentalidad creadora para encontrar las soluciones satisfactorias posibles.

El proyectista deberá evaluar las distintas soluciones planteadas sin que hayan sido realizadas, ya que no es posible construir y probar en condiciones de operación cada una.

Para poder analizar las ventajas e inconvenientes de cada solución y establecer así un orden de méritos se recurre a los métodos de modelización y la simulación mediante el uso de modelos físicos, analógicos y matemáticos.

La modelización y simulación es un método experimental, por cuanto en el modelo se realizan mediciones que mediante una técnica apropiada permite hallar los valores que corresponderán a la construcción real.

Tomemos como ejemplo el desarrollo de un nuevo sistema de control de tránsito para una ciudad. En función de la capacidad de inventiva el proyectista podrá bosquejar varias propuestas de sistemas para dicho control, las cuales se evaluarán posteriormente para determinar cual de ellas será la más conveniente. Esta evaluación debe hacerse preferentemente mientras las ideas están aun en la etapa de "gráficos tentativos" por cuanto sería muy difícil ensayar las posibilidades en condiciones reales exigidas para los sistemas de control de tránsito, atendiendo a que las pruebas "de campo" demandarán dinero, tiempo y un público usuario que tenga mucha paciencia.

Un método para predecir el funcionamiento de las soluciones alternativas es el uso del criterio personal, otro son las matemáticas y otro más es la simulación (es factible el empleo de los tres métodos en el problema dado).



Para poder experimentar (modelización y simulación) es necesario saber como preparar un experimento con el fin de obtener una cantidad máxima de información confiable con un mínimo de tiempo y costo. En esta tarea habrá que desarrollar aptitudes para llevar a cabo las mediciones.

### **Criterio, razonamiento y comprensión**

El éxito de un proyectista depende de su criterio y de su capacidad de razonamiento y el principal objetivo de los cursos de las carreras tecnológicas tiende a contribuir al desarrollo de esas cualidades.

La formación básica en física y matemática, así como la tecnológica inducen a razonamiento lógico que resulta necesario para analizar y encontrar distintas soluciones en un problema dado.

Un problema es una dificultad que es necesario comprender con claridad para intentar resolverla. Requiere examen y valoración crítica.

La existencia de un problema que demande como solución la creación de un sistema físico es el punto de partida del proyecto de ingeniería. Ante el problema el proyectista habrá de definir, comprender, valorar y analizar críticamente, para luego intentar obtener la mejor solución.

El paso inicial es la toma de conocimiento de la existencia del problema, su planteo, seguido de su correcta comprensión. Comprender el problema significa estar en condiciones de explicarlo a otros, saber desarrollar las cuestiones implícitas, poder señalar sus aspectos particulares e intentar su solución.

El proyectista debe ser capaz de lograr una comprensión total del problema, de su entorno y de su estructura, si pretende que el proyecto que realice logre plenamente su cometido.

El proyectista debe además ser objetivo por cuanto al tratar de obtener información sobre el problema a resolver se encuentra, con frecuencia, con informaciones contradictorias, apreciaciones equivocadas y aun tendenciosas, dependiendo de quienes sean los informantes. Esto lo obliga a evaluarlas con objetividad, criterio y sin prejuicios.

### **Empleo del método apropiado**

El proyectista debe siempre trabajar con método, a fin de evitar pérdida de tiempo, mayores costos u omisiones en su trabajo.

Dada la gran interrelación entre las distintas etapas del desarrollo de un proyecto, la diversidad de temas y complejidades y la mayor o menor extensión del mismo, no es posible establecer un único método y cada proyectista adoptará aquel que a su criterio sea el más adecuado para el proyecto particular que deba encarar.

Es usual adoptar el método secuencial con realimentaciones, atendiendo a las siguientes secuencias:

- Formulación del problema
- Análisis del problema
- Búsqueda de soluciones
- Selección de las soluciones propuestas
- Optimización
- Decisión y desarrollo del proyecto definitivo

El solo hecho de trabajar con método no significa asegurar el éxito del proyecto, pero determina un gran ahorro del tiempo de ejecución, evita gastos de mayores horas hombre y permite conocer con facilidad el estado de desarrollo del trabajo.

El proyectista obtendrá resultados satisfactorios si cuenta con los datos técnicos



necesarios y tiene experiencia en el diseño de los distintos equipos e instalaciones que proyecta.

Será muy conveniente que conozca o imagine también su forma de operación (si fuera una construcción de la forma de ejecución de la misma). En caso contrario algunas soluciones de equipos operativos no serán prácticas desde el punto de vista de manejo y mantenimiento.

Con el objeto de ganar experiencia, el proyectista deberá presenciar la puesta en operación y en producción o su uso del proyecto una vez concretado éste, procurando obtener datos sobre inconvenientes presentados que resulten atribuibles al diseño, a fin de prevenirlos en el futuro.

### **Capacidad para continuar al automejoramiento**

Cuando se egresa de la Facultad no se tienen las características y cualidades que analizamos debe reunir un ingeniero proyectista; y por ello se dice que el título profesional "marca solo el fin del principio", requiriendo el ejercicio profesional una superación constante que depende de uno mismo.

La educación formal recibida proporciona un sólido comienzo de un proceso de desarrollo a largo plazo, pero es necesario continuar el aprendizaje porque muchas de las cosas aprendidas se vuelven anticuadas en relativamente pocos años.

Los medios para continuar la capacitación son la experiencia, libros técnicos, revistas especializadas, conferencias, cursos de especialización y de posgrado.

### **Aptitud para trabajar con la gente**

La capacidad de trabajar eficientemente con otras personas es de gran importancia por cuanto la práctica de la ingeniería comprende relaciones con numerosas personas y si no se es capaz de mantener con ellas un trabajo cooperativo se originan muchas dificultades.

### **Actitud del ingeniero**

El ingeniero debe aplicar en la resolución de problemas cierta forma de ser que puede aportarle muchos beneficios.

#### a) Actitud interrogante

Tener siempre curiosidad por el "cómo" y el por qué" de las cosas. Esta actitud le permitirá obtener información útil e ideas aplicables al proyecto.

#### b) Actitud profesional

El ingeniero debe asumir una actitud profesional hacia su trabajo, hacia el comitente para quien realiza el servicio y hacia sus colegas (responsabilidad en el análisis del trabajo, reserva en las conclusiones del mismo, respeto hacia los colegas, etc.).

## **TIPOS DE CONTRATOS DE CONSULTORÍA**

Fuentes: Normas para la utilización de consultores por los prestatarios del Banco Mundial y por el Banco Mundial como organismo de ejecución.

### **Contratos por meses - hombre (o con base en el tiempo)**

Este tipo de contrato se utiliza mucho en estudios generales de planificación y de factibilidad para trabajos de diseño (anteproyecto), diseños final (proyectos) y supervisión de la construcción, y en trabajos de asistencia técnica. El Banco la utiliza en la mayoría de los trabajos que se realizan directamente para él. Los pagos se basan en tarifas convenidas en función del tiempo para el personal (que normalmente figura en el contrato con su nombre).



La tarifa vinculada con el tiempo, usualmente meses -hombre, incluye sueldos, gastos sociales, gastos generales de la firma, honorarios o utilidades, y por lo general una asignación por trabajo en el exterior. Ordinariamente, el precio del contrato comprende una asignación para imprevistos que incluye trabajos adicionales y ajustes de precios dentro de un máximo global del precio.

### **Contratos a suma alzada**

Los contratos a suma alzada se utilizan principalmente en trabajos de proyectos, por lo general en el sector industrial. Difieren de otros tipos de contratos en que una vez convenido el importe total, no se exige que haya correspondencia entre los pagos y los gastos que demanda el trabajo. Los pagos se hacen normalmente según un programa convenido de tiempo o más habitualmente según la marcha del proyecto. Los contratos a suma alzada por lo común se negocian sobre la base de los aportes estimados de gasto de personal y de otros elementos, o según porcentajes que son las normas habituales para determinados tipos de trabajo. La suma alzada se fija con respecto a la duración total del proyecto.

Este tipo de contrato es el habitual con los organismos provinciales cuando concursan trabajos de consultorías, con una doble evaluación para elegir el equipo de proyectos, que consiste en un orden de méritos por los antecedentes del grupo consultor y a posteriori el del precio (importe total).

### **Contratos a porcentaje**

En los contratos a porcentaje se relaciona directamente el costo de los servicios y de los consultores con los de construcción del proyecto, y son semejantes a los contratos a suma alzada en el sentido de que una vez convenido el porcentaje, no se exige la comparación entre los insumos y los pagos. Los contratos se negocian sobre la base de normas de trabajo o escalas de honorarios profesionales, o ambas cosas a la vez. Este tipo de contrato es corriente en los trabajos de arquitectura, y las asociaciones profesionales de ingenieros también lo aconsejan en relación con los proyectos de ingeniería.

El Banco no recomienda acordar contratos basados en un porcentaje del costo efectivo o real de la construcción, dado que en realidad son abiertos, y pueden ser desfavorables para diseños innovadores que reduzcan los costos. Lo más aceptable es que el monto del contrato (o una parte importante de él), se base en un porcentaje del costo estimado y no del costo efectivo, y que se lo trate como un contrato a suma alzada.

### **Contratos al costo más honorarios fijos**

Los contratos al costo más honorarios fijos generalmente se asocian con la preparación y puesta en marcha de proyectos industriales y de ingeniería de procesos. Los costos son los de personal y los de los materiales que se prevé que necesitará el ingeniero contratista para llevar a cabo su tarea; además hay un calendario fijo para terminar el trabajo.

Los honorarios consisten en el monto negociado entre la firma y el prestatario teniendo en cuenta los conocimientos técnicos y las necesidades de personal administrativo y de tiempo. El contrato es semejante a uno por meses -hombre, salvo que los honorarios se separan y se pagan según un programa de acuerdo con metas de progreso del trabajo.

A diferencia del contrato por meses -hombre, si el consultor y el cliente convienen en que se requiere personal adicional para terminar el trabajo dentro del plazo fijado, se pagan al consultor solo el mayor costo que origina dicho personal, sin honorarios o utilidades adicionales.





### **Reajuste de precios**

Los contratos con firmas de consultores deben incluir disposiciones relativas a ajustar el precio. Estos normalmente requieren para reajustar los valores basados en el tiempo a fin de reflejar los aumentos (o disminuciones) de sueldos del personal debidos a cambios en el costo de vida tanto en el país de origen del consultor como en el del prestatario.

Normalmente debe incluirse una disposición de este tipo en contratos de más de un año de duración. Esta modificación deberá basarse en índices oficiales apropiados o pruebas documentales aceptables, o ambas cosas a la vez. Dichas modificaciones se aplican a la totalidad del valor por mes -hombre y a los costos de vida en el país.

### **Asignación para imprevistos**

La asignación para imprevistos debe incorporarse en el contrato del consultor y cubrir el costo de trabajos adicionales inesperados. La inclusión de esta asignación para imprevistos puede solucionar dificultades si se precisa trabajo adicional de la firma de consultores.



## CAPITULO III: PLANIFICACIÓN Y PROYECTO – ANÁLISIS DE SISTEMAS

El ingeniero brinda una función de servicio a la sociedad para compatibilizar -las necesidades sociales con los recursos y tecnologías disponibles. En el desempeño de esta función está involucrado en una continua y cíclica interacción con la sociedad en la cual surgen nuevos problemas que requieren la concepción de proyectos alternativos y se implementen soluciones.

Esta interacción exige determinar lo que es necesario, cuando es necesario y cuanto es concerniente al ingeniero en la actividad creativa de proyecto y planificación.

### **Planeamiento**

Desde un punto de vista general el planeamiento es una rama de la administración que consiste en: a) elección de metas, políticas y procedimientos, entre opciones disponibles b) la previsión del futuro c) el trazado de planes de acción

En esta acepción, el planeamiento está asociado al concepto de decisión, por cuanto resulta ser la determinación de cursos de acción destinados a lograr objetivos.

Abarca a todas las funciones de la administración:

Se divide en dos ramas que son:

1) Planeamiento empresarial que comprende el planeamiento completo de una empresa y que consiste en un proceso continuo ya que el administrador una vez establecido un plan, seguirá planificando y revisando sus planes en forma permanente.

2) Planeamiento funcional que enfoca un elemento del problema total, siendo de duración definida y de aplicación única.

El planeamiento es una de las actividades esenciales en el desarrollo del proyecto por cuanto se ocupa del análisis de los procedimientos para pronosticar y planificar.

### **Planificación y Proyecto**

La planificación consiste en prever el uso y distribución de recursos disponibles, lógicamente ordenados, para lograr la meta propuesta.

El sistema a planificar puede ser un proyecto, una parte del mismo, un sistema industrial, económico, político, etc.

En un proyecto planificar significa organizar anticipadamente el curso de acción que se adoptará, con el objeto de lograr su realización en forma secuencial.

La planificación de un proyecto abarca un gran número de tareas debiendo definirse las relaciones e interdependencia entre ellas y las características de cada una, para la ejecución en forma ordenada y sin interferencias.

La planificación incluye investigaciones preliminares, estudios de factibilidad, análisis detallado y especificaciones para la implementación, manufactura, construcción, inspección y mantenimiento. Si la planificación se complementa con la programación, es necesario determinar los plazos de realización de cada tarea y el plazo total para su finalización.

Se deberán conocer también los recursos humanos, de equipos y económico-financieros disponibles para lograr el fin propuesto.

El proyecto comprende la determinación de la forma específica del producto final, sus dimensiones, forma, propiedades, etc., como resultado del esfuerzo de planificación efectuado.

El término ingeniería de proyecto es generalmente empleado en relación con las especificaciones detalladas de los componentes de la obra de manera tal que no falte ningún detalle para que el proyecto pueda ser concretado.

En muchos casos el producto final del proceso de proyecto puede ser un plan especializado, tales como un plan de transporte, un esquema de desarrollo comunitario, el plan de construcción de un edificio, etc.

En suma, la actividad de proyecto en su más amplio sentido involucra determinar el alcance del esfuerzo y característica para ser asignada a cada paso en la fase de planificación.

Así el esfuerzo de planificación y proyecto se complementan uno con otro.

El proceso de planificación y proyecto que el ingeniero utiliza en la solución de problemas sociales es mostrado en la fig. III.1.

### BASES DEL PROCESO DE PROYECTO Y PLANIFICACIÓN

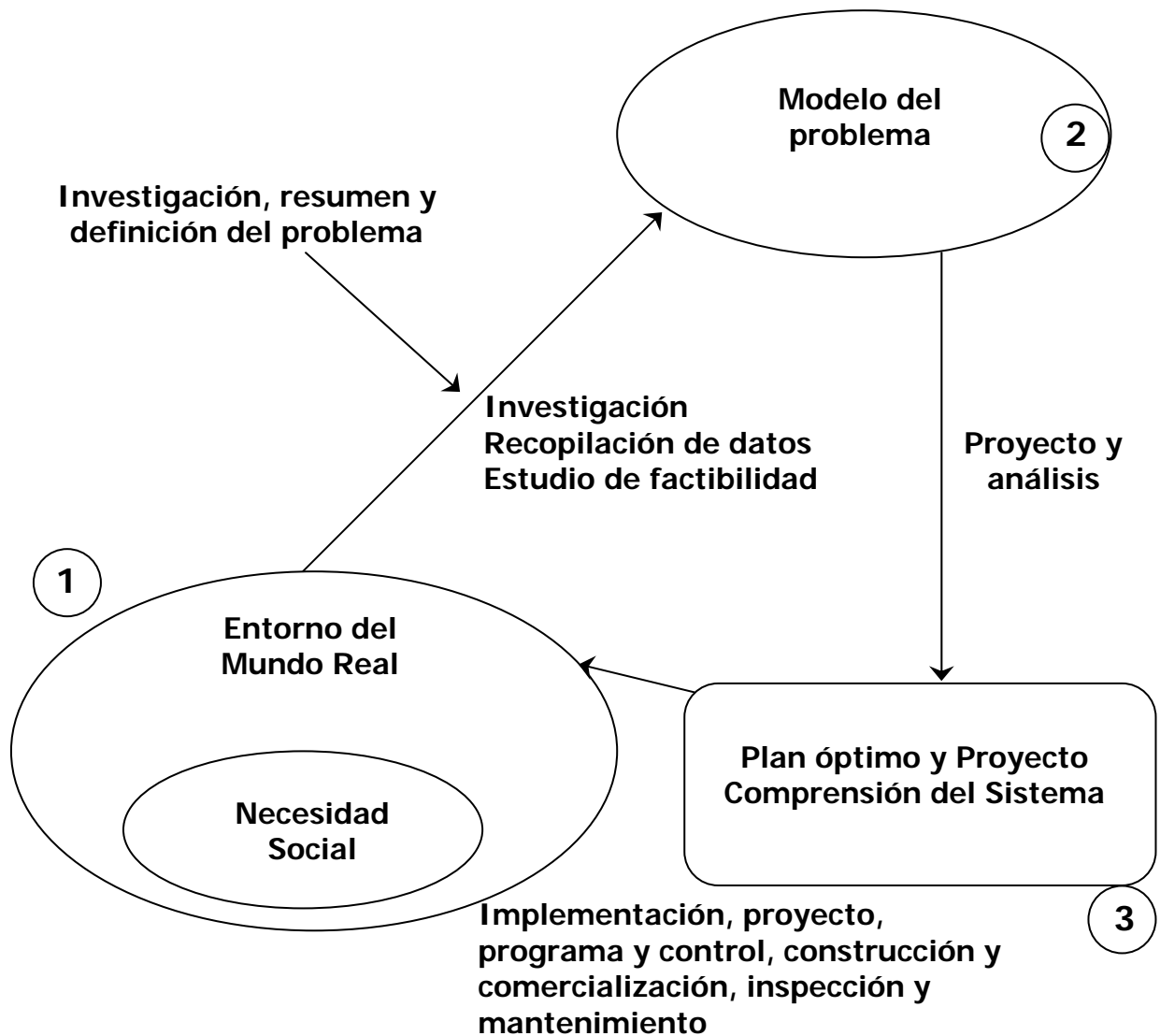


Figura III.1.

- a. Datos técnicos, variables del proyecto, objetivos, metas, normas, componentes



- relevantes, iteración entre componentes, leyes físicas, tecnología, finanzas y restricciones.
- b. Determinación de la solución específica que reúne los requerimientos, físicos-económicos-sociales y políticos. Descripción de la solución, planos, especificaciones, duración, costos, etc.
  - c. Proceso de decisión; justificación del valor del sistema; satisfacción de los requerimientos con los recursos disponibles.

El proceso indicado en la Fig. III.1. comienza con el reconocimiento y la existencia de la necesidad o el problema en el mundo real, esto reclama la concreción de una obra o medio para satisfacer la necesidad o problema.

El primer paso en el proceso es la investigación del entorno que rodea a la necesidad y extraer la información relevante y los datos de dicho entorno en orden para ayudar a definir el problema y establecer el modelo del mismo.

Dentro del contexto del mundo real, un problema puede comprender un conjunto de necesidades e intereses que sean conflictivos unos con otros. Por esto el ingeniero puede ser requerido para considerar los siguientes aspectos en relación a un particular propósito; ventaja o beneficio, costo, comercialización, calidad, confiabilidad, desempeño, duración, simplicidad, seguridad y estética, así como política y social aceptación.

A continuación el ingeniero debe definir un modelo que represente su concepto del problema. Basado sobre este modelo debe desarrollar un procedimiento de análisis y proyecto que le permita definir el problema y elegir la mejor solución. Finalmente el debe estar compenetrado con las dificultades que pueden surgir en la implementación de la solución concebida.

Así la figura III.1. representa estos esfuerzos de manera secuencial que puede ser considerado un ciclo repetitivo dentro de los procesos de planificación y proyecto.

Esto ocurre cuando:

- 1) Una más detallada investigación conduce a nuevos conocimientos que requieren una redefinición del problema o;
- 2) Limitación sobre el conocimiento y capacidad analítica no permite la consideración simultánea de todos los aspectos e implicaciones en cualquier estado, o
- 3) Una recientemente descubierta restricción, tecnológica, financiera, social ó política, que impide la implementación de la solución propuesta.

Ello determina la necesidad de iteración que se muestra en la figura III.2.

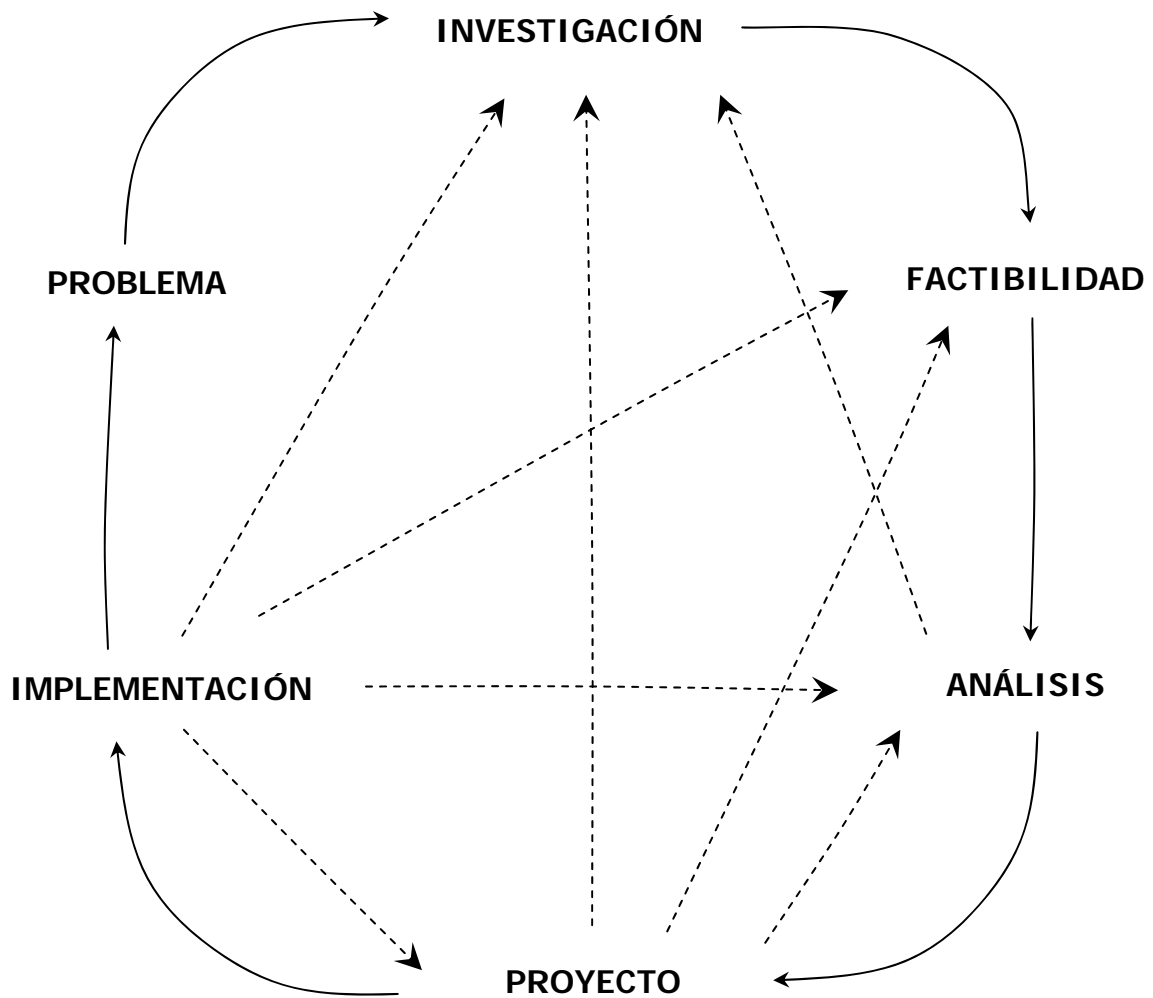


Figura III.2.

### **NATURAL-ITERATIVA DE PROYECTO Y PLANIFICACIÓN**

En concordancia con su responsabilidad profesional el ingeniero debe utilizar aproximaciones que consideren las complejidades del problema que afronta.

Estas aproximaciones deben considerar cualquier interacción interdisciplinaria y proveer un sistema racional para dirigir todos los aspectos que son relevantes al problema.

Inicialmente esto puede parecer una tarea abrumadora, pero si son utilizadas comprensivas y sistemáticas aproximaciones, la solución puede ser obtenida con la consideración de las más importantes relevancias del problema.

#### **1- La naturaleza de los problemas de ingeniería**

En el conocimiento y solución de un problema, el desafío inicial que el ingeniero debe afrontar es comprender la naturaleza del problema, el entorno en el cual existe y el fenómeno de respuesta que estará asociado con el problema y el entorno.

La naturaleza del problema puede dar una indicación de los factores que lo originaron y entonces la solución debe considerar estos mismos factores.

El entorno consiste en el ambiente que contiene o rodea al problema.

El fenómeno de respuesta es indicativo de la manera en que el problema y su entorno van a responder a algún estímulo disturbador. Este estímulo puede ser una modificación



---

obtenida del resultado de la solución de algún problema que se ha presentado.

El ingeniero para emprender y lograr una propuesta de solución al problema planteado necesita que su definición y comprensión representen adecuadamente el problema en su real contexto. Así el debe reconocer la complejidad del mundo real y acomodar los factores que están involucrados.

Ciertamente hay limitaciones del alcance del problema que pueden ser investigados y estas limitaciones deben ser reconocidas en la formulación de la solución.

Hay numerosos ejemplos que demuestran la alta complejidad natural de los problemas de ingeniería así como la interacción y respuestas del área del problema y su entorno: 1) Una falla en una parte de una máquina puede causar un mal funcionamiento o limitar la operación de esta máquina tal que la producción es fuertemente disminuida o parada.

2) Modificación de alguna parte de una fundación puede tener extensa implicancia sobre las cargas que el edificio puede soportar y así limitar su uso.

En todos los casos el efecto de la interacción, respuesta o mal funcionamiento puede ser investigada hasta el punto que las consecuencias sociales, políticas o económicas sean definidas. Además, todos los problemas son caracterizados por el hecho de que un estímulo perturbador produce un efecto sobre el entorno.

Este efecto es importante e interesante para el ingeniero de dos formas:

Primero, el estímulo disturbador define la causa del problema lo que permite dirigir su solución a la causa.

Segundo, cuando una solución a un problema es propuesta se convierte en un estímulo disturbador y el ingeniero se interesa por las consecuencias que resultan en todo el entorno afectado.

El desafío profesional del ingeniero debe considerar en su análisis y proyecto no solo el problema inmediato sino también varias de sus consecuencias. Así debe tratar el problema y su entorno como un todo, por sus aspectos interactivos, sin separarlos con algún aspecto fragmentado en un contexto aislado.

Un proyecto, con el cual el ingeniero está involucrado, es en realidad parte de una entidad mayor. En suma, este proyecto contiene un número de partes o componentes que deben ser integrados para satisfacer algún propósito o función.

En lo esencial, el ingeniero está relacionado con un sistema, o con un sistema menor dentro de uno mayor, y el método que el utiliza debe reconocer y tratar con el problema sobre estas bases.

## **2- Análisis de sistemas**

Un sistema puede ser definido como un conjunto de componentes unidos que interactúan respondiendo en forma conjunta a algún estímulo o demanda para satisfacer un propósito específico o función.

En un sistema cada componente responde al estímulo de acuerdo a su naturaleza intrínseca, pero el estímulo real que recibe y el consecuente comportamiento está condicionado por la interacción con los demás elementos del sistema. Por eso la demanda sobre un sistema requiere el juego del comportamiento individual de los componentes del mismo, que desarrollan un comportamiento que sintetiza el del conjunto, produciendo la respuesta del sistema.

Para que un sistema exista debe cumplir ciertas condiciones:

1) El conjunto debe ser un todo orgánico para que un propósito específico pueda ser satisfecho o cumplido.

2) Hay un número de componentes (al menos dos) que pueden ser identificados como elementos necesarios del problema. Cada componente debe ser conocido, tendrá ciertos grados de libertad y responderá a leyes propias.

3) Los componentes estarán interrelacionados de alguna manera y se conocerán las leyes de interacción que determinan su comportamiento.



4) Hay impedimentos que restringen el comportamiento del sistema y la respuesta individual de los componentes.

Una industria manufacturera es un ejemplo del sistema: comprende numerosos componentes; entre ellos: el equipamiento, la mano de obra, el abastecimiento, el almacenamiento de la materia prima y de productos elaborados, los servicios, las ventas, la distribución, la dirección, la administración.

Cada uno de estos componentes tiene sus propias leyes, y a la vez ellos interactúan influyéndose recíprocamente.

Hay impedimentos que restringen el comportamiento global del sistema (factores de consumo, valores del tipo de cambio, etc.) y que inciden en la respuesta de cada uno de los componentes.

Desde el punto de vista del proyecto de ingeniería se deberá referir a conjuntos físicos, sin embargo en proyectos también existen sistemas que no están constituidos por elementos de existencia física, como los sistemas organizativos y los de programación.

El conjunto de actividades que se deben cumplir para la realización de un proyecto constituyen también un sistema.

En los siguientes ejemplos se identifican estas condiciones para los sistemas considerados.

**Ejemplo 1:** Un intercambiador de autopista debe ser identificado como un sistema de transporte.

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Propósito del sistema     | Para permitir el ordenamiento del flujo de tráfico en el cruce de dos rutas principales |
| Componentes del sistema   | Dos rutas principales, alto nivel, rampas de acceso, señales de tránsito, tráfico, etc. |
| Estructura del sistema    | Trazado del intercambiador  |
| Restricciones del sistema | Volumen de tráfico, tiempo de reacción humana, regulación de tráfico, etc.              |



**Ejemplo 2:** Una construcción urbana como un sistema de ingeniería

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Propósito del sistema     | Para promover un lugar para negocios, oficinas y departamentos  |
| Componentes del sistema   | La estructura física, los pisos, los ascensores, calefacción, iluminación, servicios sanitarios, etc        |
| Estructura del sistema    | Uso del espacio, disposición del espacio, etc.  |
| Restricciones del sistema | Requerimientos de espacio, costo de construcción, ambiente que lo rodea, características de seguridad, etc. |

**Ejemplo 3:** Sistema de evacuación de aguas servidas de la ciudad.

|                           |   |
|---------------------------|---|
| Propósito del sistema     | Para evacuar aguas residuales de los edificios de la ciudad   |
| Componentes del sistema   | Los edificios, cañerías de aguas servidas, plantas de procesos, desagüe para las aguas tratadas, etc. |
| Estructura del sistema    | Flujo de aguas servidas, procesamiento, localización, etc.  |
| Restricciones del sistema | Densidad de población y su distribución, niveles de polución, etc.                                    |

El ingeniero puede encontrar que el problema no comprende a un solo sistema sino que incluye varios niveles de sistemas, como se ilustra en la figura 3.

En este caso cada nivel del sistema debe ser examinado para los componentes que éste contiene y las interacciones dentro, así como con los niveles inferiores y superiores del sistema.

Para identificar los componentes, la interacción entre los mismos debe ser definida. Los componentes y su interrelación definen la estructura del sistema que constituirá un todo orgánico respondiendo en forma conjunta cuando una de sus partes es estimulada o modificada.

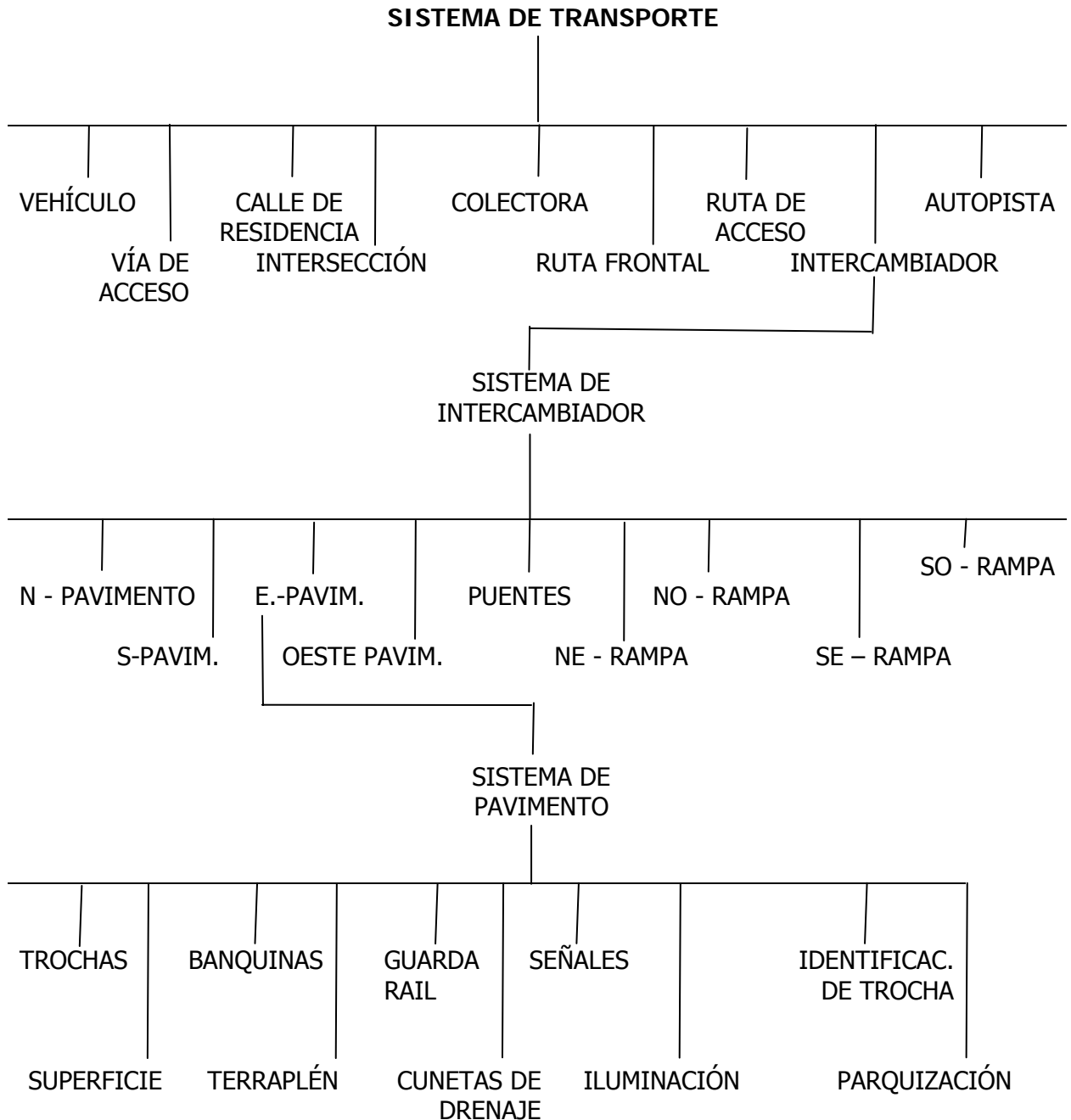


FIGURA III.3. NIVELES DE SISTEMAS



### Composición de un sistema

No tomando en cuenta su estructura sino su condición paramétrica, se puede decir que un sistema, esencialmente, se compone de tres



Función transferencia

FIGURA III.4.

Para el caso de un sistema productivo, por ejemplo, se tendrá como entrada los insumos y como salida el producto manufacturado, siendo el proceso lo que se denomina función transferencia.

Estos tres elementos son imprescindibles en todo sistema por lo que, solo si existen los tres, se tendrá un sistema.

Por lo general, un sistema suele presentar una realimentación, que por ejemplo podría ser la diferencia que surge de la comparación entre el producto obtenido y el especificado, tarea que realiza el control de calidad en cualquier planta productora. Si no se logra que el producto cumpla las especificaciones, el control de calidad realimentará al proceso con su información de error.

Vinculado e influyendo sobre el sistema, se encuentra el entorno o medio ambiente que lo rodea y determina su punto de funcionamiento. Sus efectos sobre el sistema, en general, no están bajo el control de éste. En el ejemplo del sistema productivo, un sistema externo que influye podría ser el mercado.

El modelo diagramático que representa estas condiciones se muestra en la figura III.4.2.

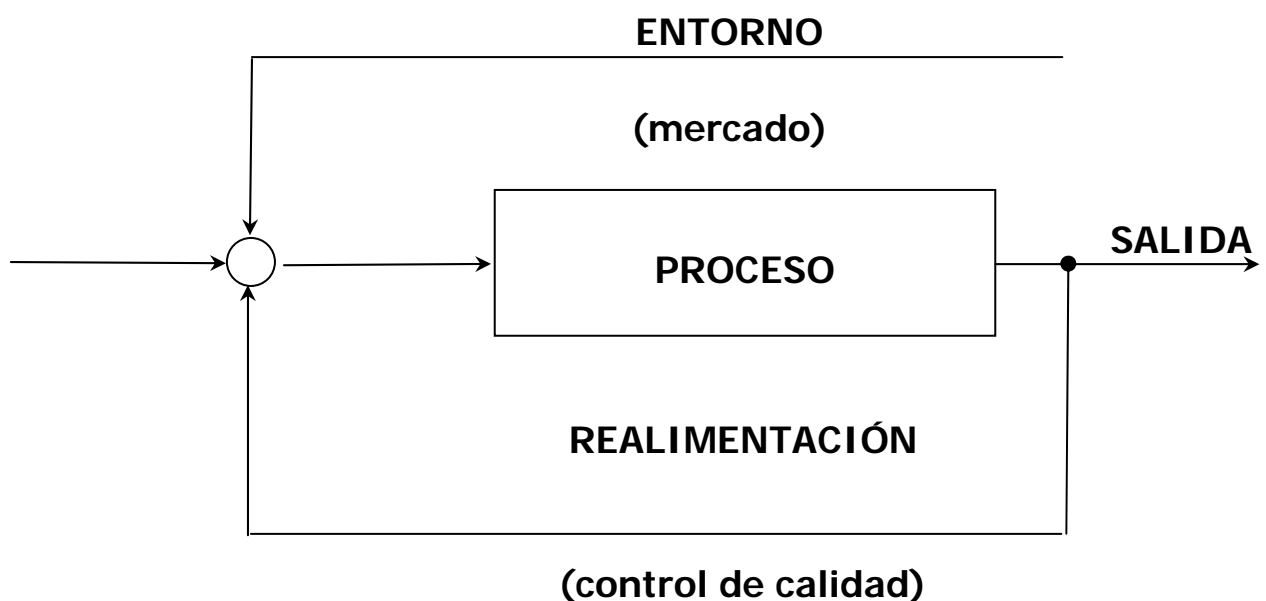


FIGURA III-4.2.

## CAPITULO IV- ANÁLISIS DE SISTEMAS APLICADOS A PROYECTOS

### PROYECTOS

#### 1-Consideraciones del entorno del problema

La primera tarea al encarar un problema es delinear el entorno del mismo. Este paso inicial es fundamental por cuanto permite introducirse en el problema prescindiendo de su forma o complejidad, porque finalmente la implementación de cualquier solución que puede ser concebida y propuesta es contingente con la acertada comprensión del problema y su entorno. Así, una falla en definir adecuadamente el entorno puede resultar en el rechazo de la solución propuesta.

Este rechazo puede ser físico en aquello que la mejora falló, económico en aquello que no es factible, y político y social en lo que no es permitido o aceptado.

Con respecto a un problema, el entorno incluye los sistemas que están involucrados e influyen al problema, y también aquellos sistemas que son afectados por el problema.

A medida que la complejidad de los problemas aumenta el ingeniero encuentra mayor dificultad en introducirse y definir el problema, no debiendo considerar solamente lo relacionado específicamente a su experiencia en el área, sino también incorporar la influencia y consecuencia de su solución, sobre el entorno en el cual el problema existe.

Consecuentemente el profesional debe utilizar un enfoque para reconocer todos los componentes involucrados en el problema y la esfera de influencia que existe en el entorno.

La introducción a los sistemas es semejante a una técnica y representa una gran base sistemática de introducción a los problemas. Esta técnica es particularmente útil cuando los problemas son complejos y afectados por muchos factores, y vincula la creación de un modelo del problema que corresponda, en algún sentido, y tan estrechamente como sea posible con la realidad.

En la introducción de los sistemas la tarea inicial es delinear el entorno del problema, ello permite identificar al sistema general que está asociado con el problema. Además los componentes que están contenidos en el sistema deben ser determinados. Este paso se grafica en la figura IV.1.

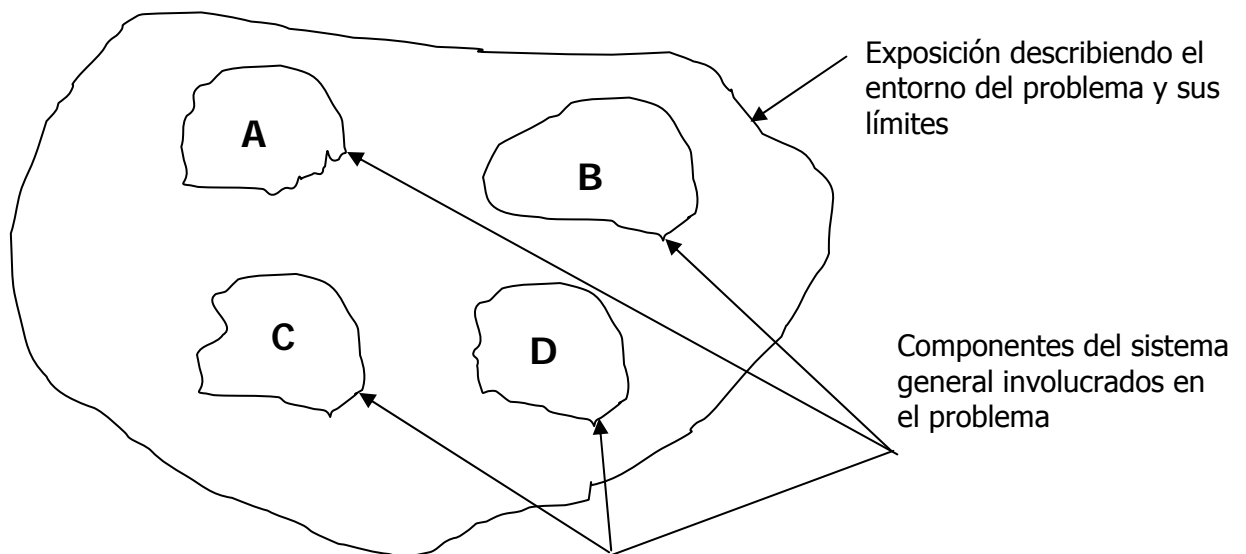


Figura IV.1. ENTORNO DEL PROBLEMA E IDENTIFICACIÓN DE SUS COMPONENTES

La interacción con otros componentes debe ser determinada para cada componente que es identificado con el sistema.

Tomando en conjunto, las interacciones sirven para formar una estructura del sistema que muestra la relación de los componentes con el sistema y su funcionamiento con respecto a otros componentes.

En esencia, la estructura define al sistema e influye en su comportamiento.

Para el hipotético sistema mostrado en la figura IV.1., la estructura del sistema ha sido agregada y mostrada en la figura IV-2.

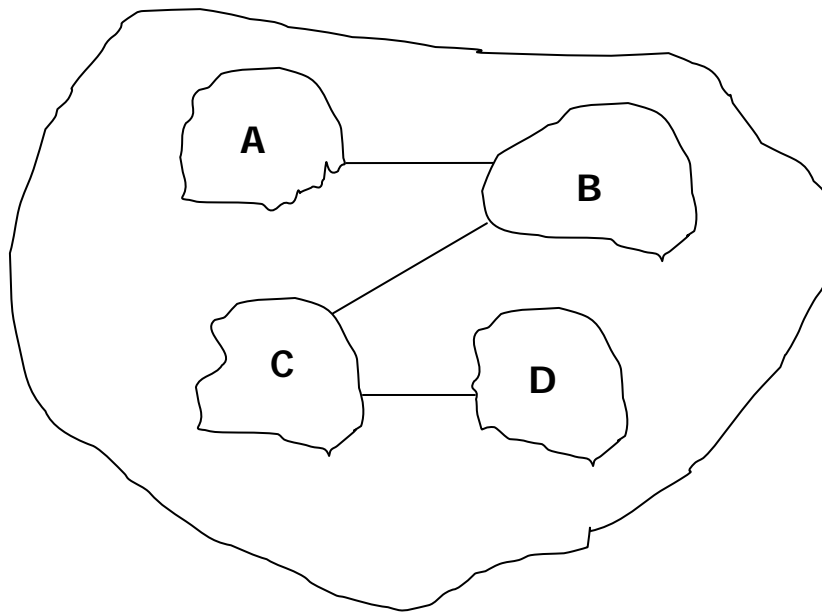


Figura IV.2.

#### ENTORNO DEL PROBLEMA Y COMPONENTES DEL SISTEMA CON LA ESTRUCTURA

El ingeniero debe reconocer que el problema puede involucrar o ser relativo con otros sistemas. Entonces en la definición del problema, se deben identificar estos otros sistemas.

Por ejemplo, un sistema con el cual el ingeniero puede estar directamente involucrado es en realidad un componente de un sistema mayor, como se indica en la figura IV-3. Para la comprensión del problema se deben definir los componentes y estructura del sistema mayor.

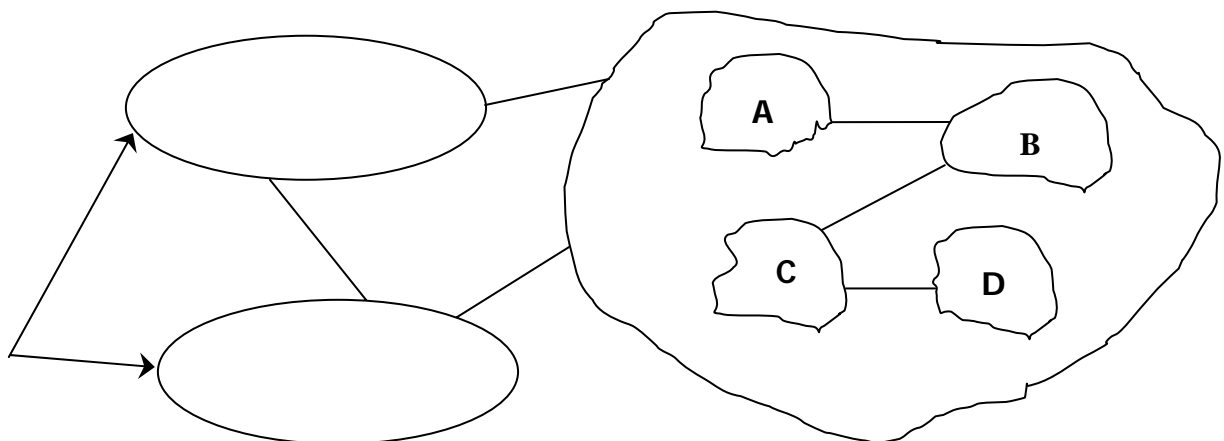


Figura IV.3.

#### SISTEMA BAJO INVESTIGACIÓN COMO COMPONENTES DE UN SISTEMA MAYOR

La visión del sistema bajo consideración en el contexto del sistema mayor tiene las siguientes ventajas:

Primero, una más clara definición de la función del sistema puede ser de esta forma obtenida y

Segundo, las consecuencias de modificar el sistema puede ser establecida en un contexto más amplio.

Una investigación microscópica del sistema bajo estudio puede ser hecha subdividiendo cada componente en los elementos que lo integran.

Esto permite una investigación detallada de estos componentes para determinar las posibles modificaciones al proyecto. Este microanálisis de los sistemas componentes es mostrado gráficamente en la figura IV-4.

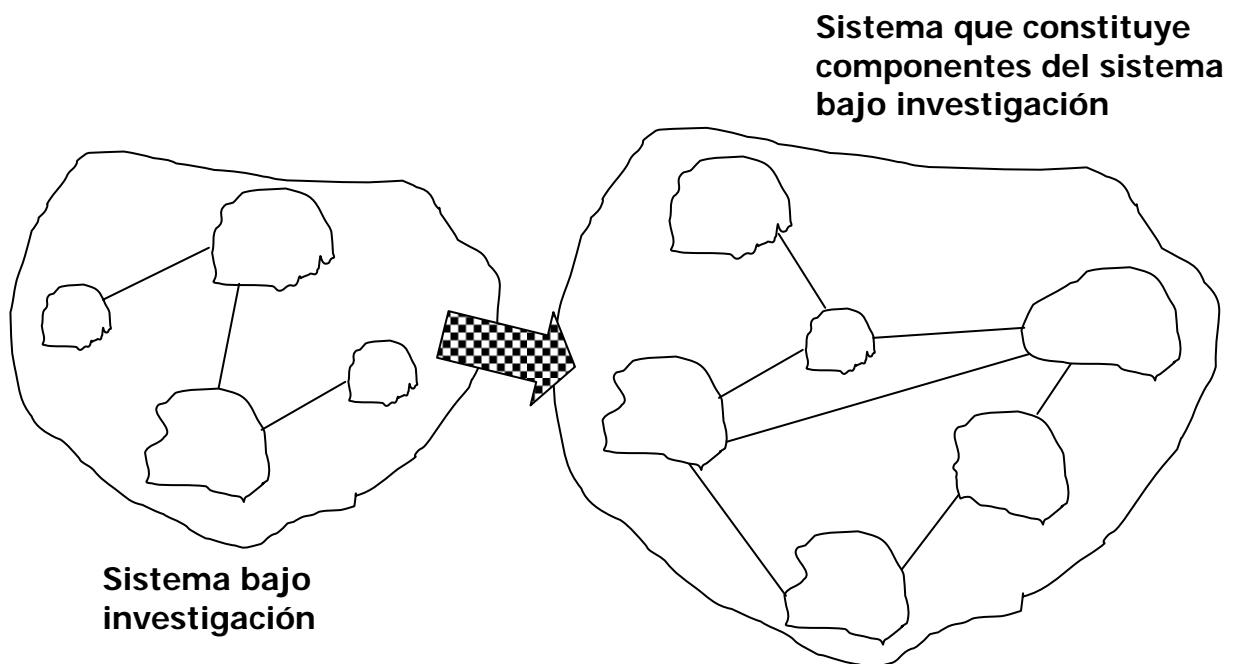


Figura IV.4. MICROANÁLISIS DE SISTEMAS - COMPONENTES

Una investigación de cada componente revela si este es un sistema en si mismo. Entonces la estructura jerárquica del sistema puede determinarse, permitiendo así el análisis del sistema en varios niveles.

Esta estructura jerárquica del sistema se muestra en la figura IV-5 indicando los sistemas componentes de las figuras IV.4.; IV.3. y IV.2.

La estructura jerárquica provee la armazón para analizar los aspectos comprensivos del problema así como los detalles técnicos que deben ser emprendidos y evaluados.

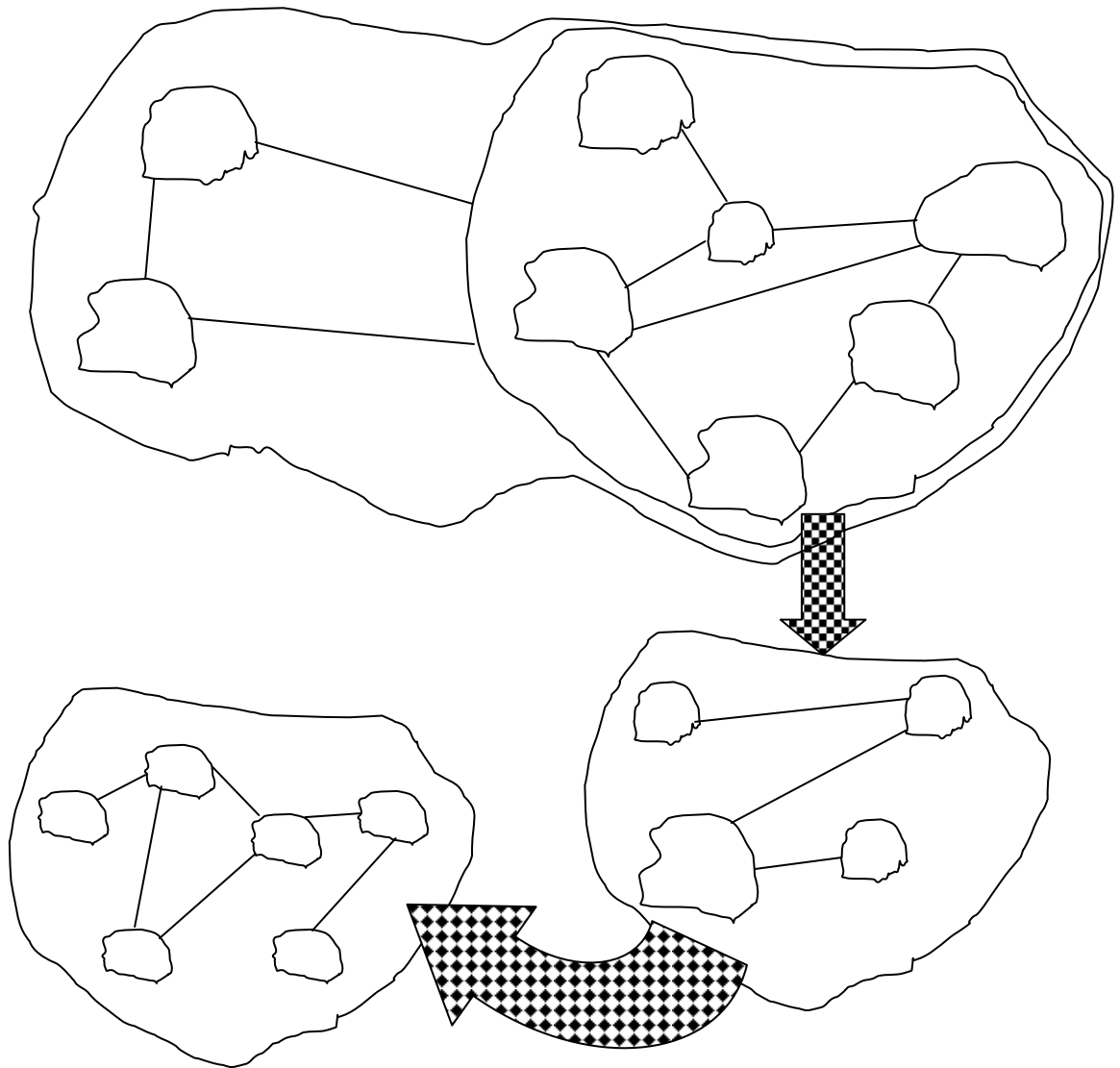


Figura IV.5. ESTRUCTURA JERÁRQUICA DEL SISTEMA

## EJEMPLO 1

Problema o necesidad | Se necesita proyectar la estructura resistente de un edificio

Sistema mayor | Proyecto de una construcción urbana destinada a departamentos

Sistema bajo investigación (sistema integral suelo-estructura): | La estructura resistente (propósito: facilitar la construcción de la obra logrando la durabilidad de la misma cuidando el aspecto económico y estético)

Sistemas que constituyen componentes del sistema bajo investigación:

- a) Sistema de elementos arquitectónicos para delimitar los espacios
- b) Sistema de instalaciones eléctricas
- c) Sistema sanitario
- d) Sistema de ascensores
- e) Sistema de acondicionamiento de aire

Entorno: constituido por la construcción del edificio y los sistemas que lo componen (una falla estructural puede afectar en mayor o menor medida a la construcción y a los sistemas que lo integran (deben intervenir especialistas de distintas áreas).

Componentes contenidos en el sistema bajo investigación | La superestructura formada por los elementos en el sistema bajo resistentes sobre el nivel de cimentación y la infraestructura con los elementos de cimentación (ambos son sistemas)

Estructura del sistema | Interacción entre la superestructura y la infraestructura Sistema (cimiento-suelo) y el sistema estructural con los restantes sistemas componentes

Restricción del sistema | Requerimientos en función de diversas acciones exteriores (viento, sismo, oscilación)  
Dimensiones de elementos en función de la calidad del material estructural  
Limitaciones por capacidad resistente del terreno

Investigación microscópica del sistema bajo estudio | Tomamos c/u de los componentes y los dividimos en los elementos que lo integran; por ej. la superestructura constituida por losas, vigas, columnas estudio en sus distintos niveles

## Ejemplo 2

|                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| <u>Problema o necesidad</u>       | Se necesita ordenar el flujo de tránsito en el cruce de dos rutas |
| <u>Sistema mayor</u>              | Sistema de transporte   |
| <u>Sistema bajo investigación</u> | Sistema de intercambiador   |

### Sistemas que constituyen componentes del sistema bajo investigación:

Sistema de pavimentos

|  |   |
|--|---|
| <u>Entorno:</u> Constituido por el sistema de transporte y el de pavimento | una falla en el intercambiador incide en transporte y en el de pavimentos |
|--|---|

|  |   |
|--|---|
| <u>Componentes contenidos en el sistema bajo investigación</u> | Dos rutas principales, alto nivel (puentes), rampas de acceso, señales de tránsito, volumen de tráfico, iluminación del sector a considerar, etc. |
|--|---|

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| <u>Estructura del sistema</u> | Trazado del intercambiador, ubicación de rampas de acceso, flujo de tránsito, considerando las interrelaciones de estos componentes entre si y con el sistema |
|-------------------------------|---|

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| <u>Restricción del sistema</u> | Volumen de tráfico, tiempo de reacción humana, regulación del tráfico, etc. |
|--------------------------------|---|

|  |   |
|--|---|
| <u>Investigación microscópica del sistema bajo estudio</u> | Tomamos c/u de los componentes y los dividimos en los elementos que lo integran. Si analizamos por ej. rampas: trazado y ubicación de las mismas, estructura resistente (superestructura, infraestructura, etc) |
|--|---|

### **Definir y solucionar problemas**

Analizaremos como desarrollar la comprensión del entorno general en el cual ocurre el problema. Este entorno revela el sistema o sistemas que son involucrados y da una visión general que sirve de guía al ingeniero y le permite examinar las potenciales alternativas que deben ser considerados en la solución del problema.

En esencia, el entorno del problema indica por donde avanzar para abordar y solucionar el problema. Además para determinar la jerarquía estructural del sistema, cada uno de sus niveles debe ser examinado y definir metas y objetivos.

Para cada nivel del sistema un propósito específico o función debe ser determinado satisfaciendo una necesidad del sistema.

Normalmente los propósitos y funciones pueden ser determinados por la definición del rol que cumple un sistema con relación al sistema superior jerárquico.

Es decir que los objetivos del sistema están usualmente relacionados con el del nivel próximo superior, como se indica en la figura IV-6.

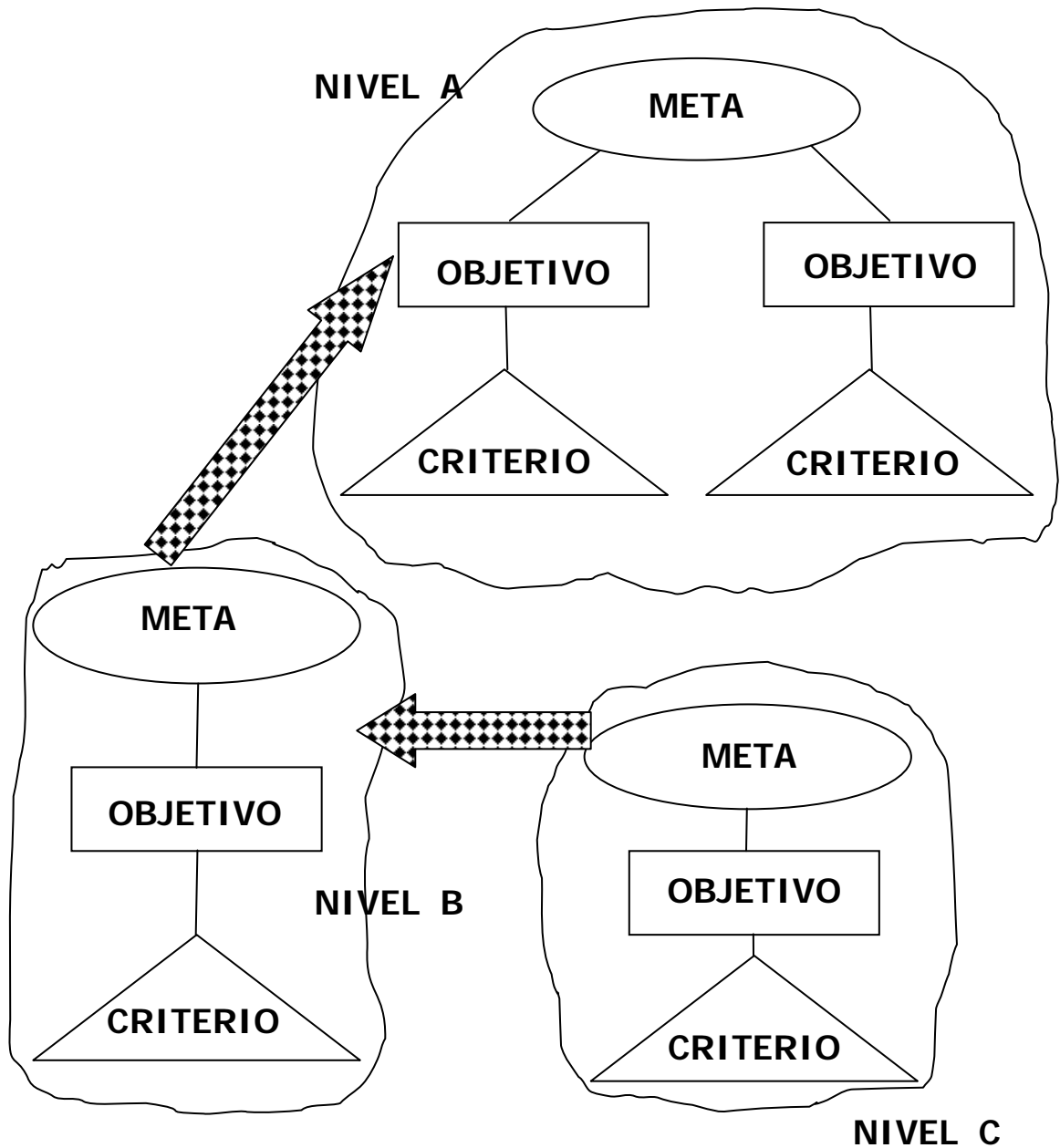


Figura IV.6.  
META DEL SISTEMA DEFINIDA POR EL ROL DEL SISTEMA EN RELACION CON EL SISTEMA SUPERIOR PROXIMO

Los objetivos muestran la forma en que las metas pueden obtenerse.

Para un sistema particular los componentes pueden indicar las diferentes variables que pueden ser modificadas en orden de satisfacer las metas. Finalmente, el criterio con que fueron definidos indican como los objetivos deben ser evaluados.

En el acercamiento al análisis del sistema, una dificultad básica está en determinar cuanto del entorno del problema debe ser considerado en su definición.

Obviamente la investigación se incrementa apreciablemente con cada nivel superior del sistema considerado. También la solución obtenida depende de la porción del entorno que es



realmente considerada.

Varios planteos o definiciones pueden ser generados dependiendo de cuantos y cuales niveles del sistema pueden ser incorporados en la visión del problema.

Por ejemplo, la figura IV.7. muestra dos definiciones del problema que son el resultado de introducir distintos componentes. En cada caso, el enunciado del problema representa aquella porción del mismo con la cual el ingeniero puede realmente actuar en la búsqueda de la solución.

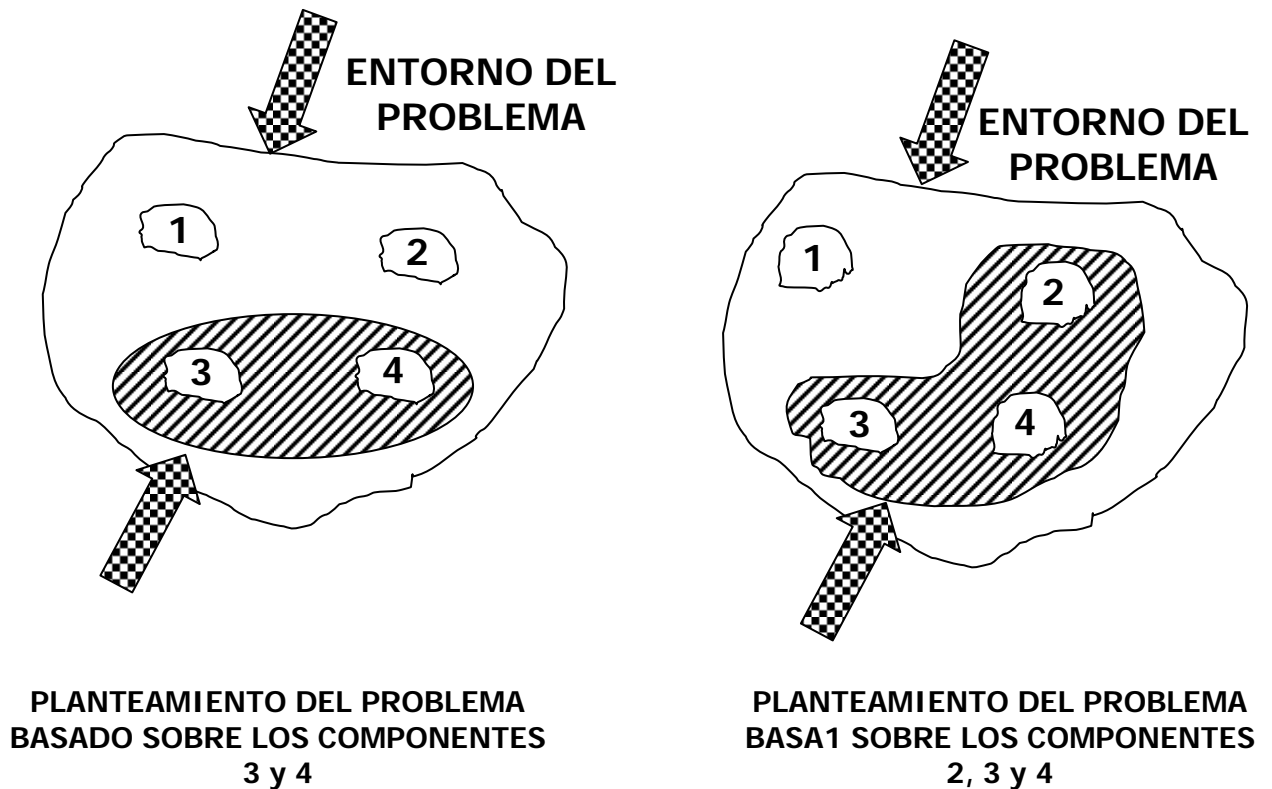


Figura IV.7.  
DIFERENTES PLANTEAMIENTOS DEL PROBLEMA BASADO SOBRE LOS COMPONENTES QUE SON INCLUIDOS

En la práctica, la expansión y profundidad de investigación puede ser decidida en uno de varios caminos.

Primero, un límite puede ser alcanzado cuando algún aspecto del problema está más allá de la influencia o control del profesional o profesionales quienes están tratando con el problema. Este límite puede ser normalmente encontrado como el fin u objetivo del incremento del sistema.

Segundo, una falta de conocimiento del sistema o de su funcionamiento puede limitar la definición del entorno del problema (ello podría ser superado en parte con la inclusión de profesionales de otras disciplinas en el estudio del problema).

Finalmente, el tiempo requerido para el estudio también puede ser una restricción a la profundidad o amplitud de investigación y ello debe ser considerado en el alcance de la investigación y en los recursos disponibles para realizarla.

En resumen, para determinar la estructura jerárquica del sistema asociado con el problema; la limitación de influencia, conocimiento y tiempo también deben ser definidos. De lo anterior surge un enunciado del problema que defina el aspecto de su entorno que debe ser incluido en la investigación.

Con los límites impuestos sobre el estudio, el ingeniero debe decidir cuantos



componentes tratara a otros niveles que estén fuera de las restricciones o limitar el entorno del problema que debe ser incluido en la investigación.

Entre las alternativas que pueden ser consideradas podemos indicar las siguientes:

1) Cuando un componente provee un dato o un más bajo nivel es involucrado, el debe ser tratado como cualquier dato variable o constante.

2) Donde no se puede emplear una relación cuantificable, las influencias exteriores de los límites establecidos deben ser consideradas en forma subjetiva ó

3) En algunos casos, componentes u otros niveles del sistema que están más allá de los límites definidos deben ser ignorados. Esta alternativa no es deseable, pero puede ser necesaria por los límites que han sido impuestos.

La definición del problema entonces va a delinear el entorno y aclarar cuales objetivos se obtendrán, que dificultades se pasarán por alto, que recursos son disponibles, que restricciones van a existir para una solución aceptable, y que criterio va a ser usado para juzgar la validez de una posible solución.

Habiendo desarrollado un planteo del problema el ingeniero va a decidir como va a ser resuelto y la forma en la cual los componentes van a ser considerados en la solución propuesta.

En orden a iniciar el análisis y proyecto, el ingeniero debe desarrollar un modelo que represente el problema como está definido de acuerdo a su planteo.

Atendiendo a lo anterior abordaremos el estudio de modelos.

## CAPITULO V- MODELO EN LA INGENIERÍA

### A) GENERALIDADES Y TIPOS DE MODELOS

Un modelo es una imagen de la realidad, normalmente va a ser una simplificación de la realidad. Esto no significa que todos los modelos sean simples por cuanto la complejidad del modelo depende de los objetivos o que son representados y los propósitos de la investigación o estudio.

Los modelos deben tener una pequeña semejanza con la apariencia real del original, pero en términos simbólicos debe reproducir los elementos esenciales de la realidad.

Analicemos como ejemplo el comportamiento de un puente y algunos factores que intervienen: cargas vivas (sobrecargas), cargas muertas, acción del viento, acción del sismo, temperatura y humedad, efectos de vibraciones y oscilaciones, efectos de contaminantes del medio ambiente, etc.

Un ingeniero deberá tomar en cuenta todos estos factores en su proyecto de puente. ¿Pero qué grado de precisión podrá alcanzar?, ¿cuánto tiempo podrá dedicar para estudiar cada uno de estos factores?, ¿podrá tener en cuenta todas las combinaciones posibles de los factores para lograr el proyecto deseable?.

Es evidente que no. Las exigencias del tiempo asignado a la preparación del proyecto, el límite del presupuesto existente, el avance de la tecnología, etc. demanda que el proyecto se termine en el menor tiempo, pero que a su vez sea el mejor posible.

Una cantidad importante de decisiones deben tomarse a cada paso con el fin de acercarse a la solución verdadera del problema. Al compenetrarse en el mismo el ingeniero busca una idealización de éste, es decir una serie de problemas sencillos íntimamente ligados que permitan resolver el propuesto originalmente. Esta idealización de la solución es un modelo.

En el estudio de un problema un número diferente de modelos pueden emplearse de acuerdo a los requerimientos del análisis. Ellas pueden ser:

#### a) Modelos iconográficos

Constituyen una representación física de la realidad y el modelo se asemeja a la realidad. Algunos ejemplos son los planos, fotografías, maquetas, diagramas, etc. La utilidad principal de este tipo de modelo radica en su bajo costo y en la comprensión más inmediata que se tiene del sistema en estudio.

Los modelos iconográficos fueron los primeros modelos creados en la ingeniería y se usan con mucha frecuencia (ejemplo: viga bajo un estado de cargas).

#### b) Modelos analógicos

Representan en forma esquemática el flujo de un proceso y operaciones dinámicas siendo su característica principal de que se comportan como la realidad.

Existe toda una serie de sistemas que difícilmente puedan representarse por medio de modelos iconográficos. Por ejemplo, el cauce de un río, la velocidad de la corriente, la acumulación y filtración del agua. Ellos puede ser representados por medio de un circuito eléctrico con los elementos necesarios e ir cambiando la corriente, el voltaje o la resistencia para representar cambios hidrológicos y de esta manera estudiar su comportamiento.

#### c) Modelos matemáticos

Representan de una forma simbólica el comportamiento de un sistema, mostrando la situación en términos matemáticos. En modelos de este tipo un conjunto de constantes y



variables reunidas en ecuaciones representan el comportamiento de un sistema.

Por su fácil manejo y por la ayuda que presentan hoy en día las computadoras, los modelos matemáticos resultan un medio económico y poderoso para analizar un sistema.

Los ingenieros utilizan los tipos de modelos indicados para diferentes propósitos como se indica en la siguiente clasificación:

1) Modelos descriptivos

Son usados para mostrar las relaciones, orden y secuencia del sistema y sistemas componentes, actividades o análisis con el cual el ingeniero se halla involucrado en un problema determinado. Se utiliza para describir como se realiza algo y permite un conocimiento completo del sistema (especificaciones detalladas).

2) Modelos funcionales

Son empleados para mostrar la respuesta de un segmento de la realidad para una perturbación inicial. En el análisis y proyecto ellos son usados para diseñar componentes para una respuesta dada o para determinar la respuesta del sistema, dadas las propiedades de los componentes y la estructura del sistema.

Esta respuesta puede ser asociada no solamente con los aspectos físicos del problema, sino también con los aspectos sociales y políticos.

3) Modelos de decisión

Se acude a ellos para elegir la más favorable solución desde un conjunto de alternativas que son admisibles de acuerdo al criterio establecido por el ingeniero. Ellos son usados para investigar y resolver situaciones antagónicas y para elegir la mejor alternativa y estrategia.

El enunciado del problema define el modelo del mismo, debiendo el ingeniero examinar cada componente y ver como incorporarlo en el análisis si no ha sido incluido en el enunciado.

La relación y el ordenamiento de cada componente debe ser hecha con respecto a los otros componentes y el comportamiento de esta interrelación tiene que estar explícitamente definido. Si esto no puede ser cumplido, ello indica que el ingeniero no podrá resolver el problema tal como está definido y su planteo debe ser re examinado.

Para cada sistema un modelo de necesidades puede ser desarrollado como lo indica la figura V.1.

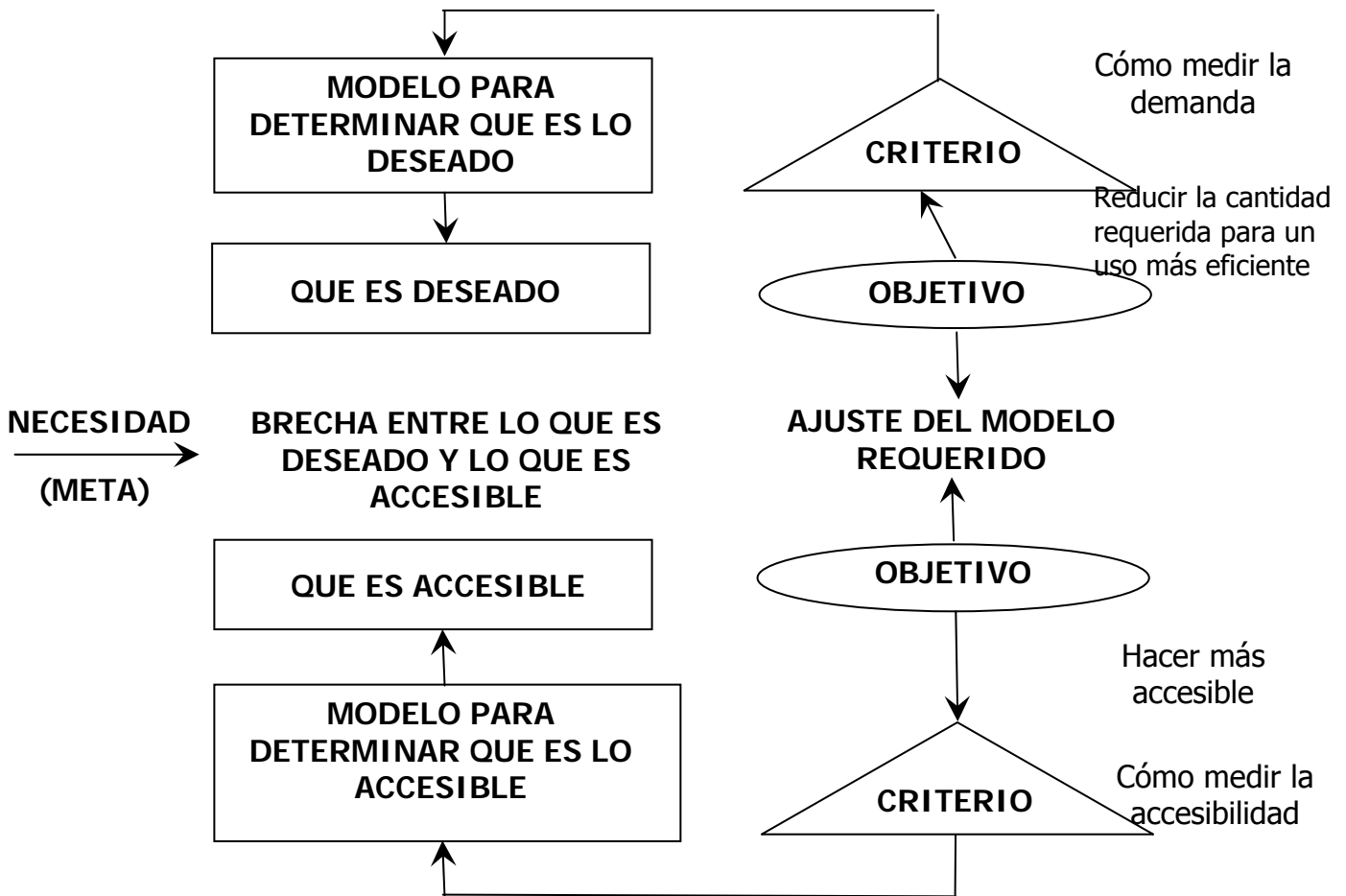


Figura V.1. - MODELO TÍPICO DE NECESIDAD

El carácter esencial de un modelo de necesidad es la muestra que las diferencian entre "lo deseado" y "lo accesible". La resolución de una necesidad implica la reasignación de recursos para que "lo que es deseado", resulte posible.

La disparidad entre "lo deseado" y "lo accesible" puede dar una indicación de la existencia de un problema de limitados recursos económicos para resolver la necesidad planteada. La investigación de dicho problema podría efectuarse con la ayuda de un modelo "de decisión".

En orden de un completo desarrollo del modelo de necesidades, el ingeniero será requerido para formular un modelo descriptivo de "que es accesible" y "que es deseado". Por último, un modelo de funcionalidad mostrará la respuesta de la accesibilidad (como perturbación inicial) en el uso de recursos. Un modelo de planteo general se indica en la figura V.2.

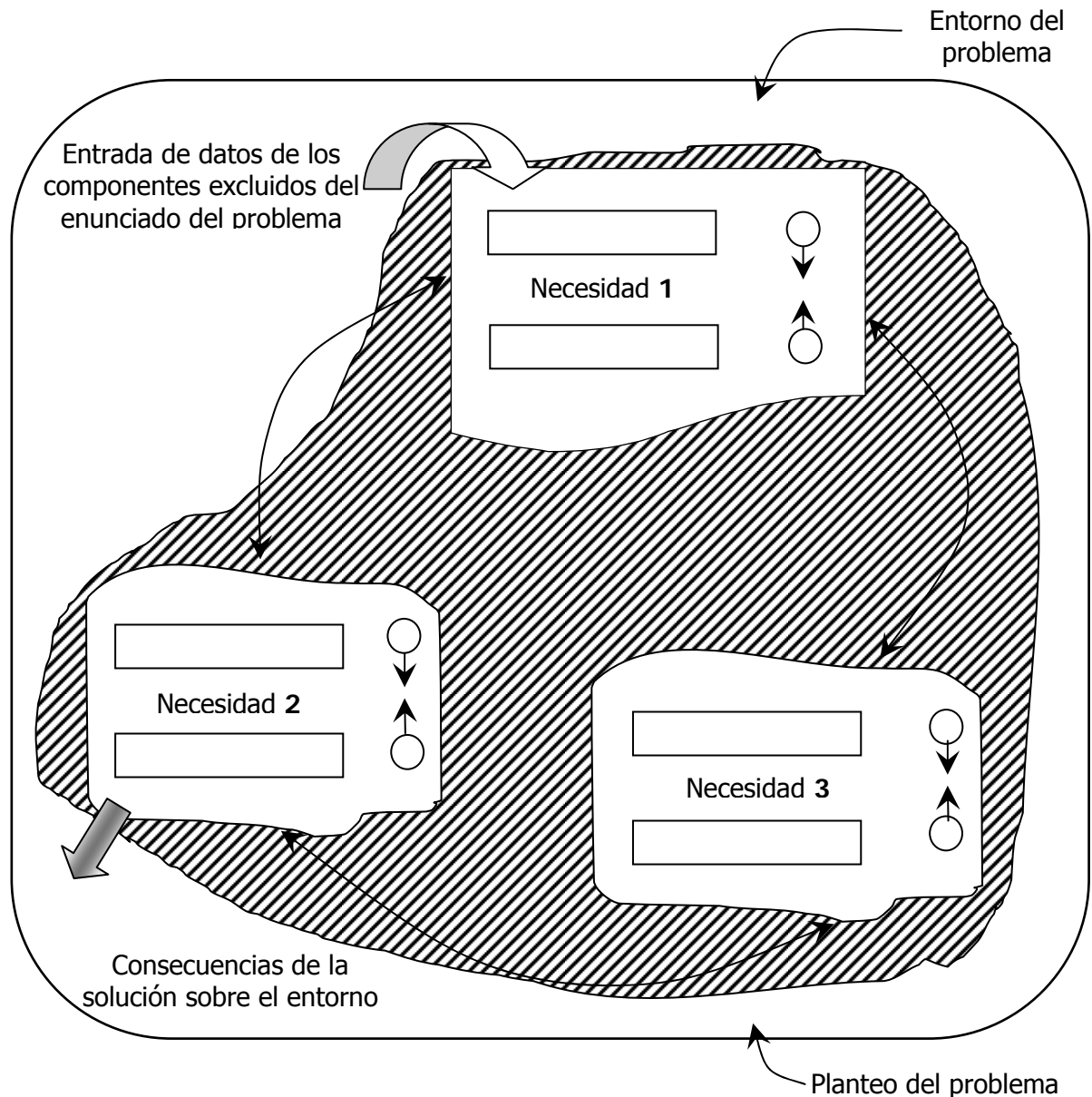


Figura V.2.  
MODELO GENERAL DEL PLANTEO DEL PROBLEMA

Teniendo determinado un modelo del problema definido y su estructura, el ingeniero debe obtener los datos necesarios y realizar el análisis y proyecto de manera que su actividad conduzcan a una solución técnica conveniente.

## B) GRAFICAS EN EL MODELADO DE SISTEMAS

### 1-SISTEMAS EN RED

Un rasgo frecuente de muchos sistemas de ingeniería es que ellos están formados por un número de componentes vinculados físicamente en forma de red. Ejemplos típicos de ello son los sistemas de autopistas interprovinciales; la recolección de aguas servidas de una ciudad; el sistema de abastecimiento de agua; el sistema nacional de transporte; la estructura resistente de un edificio elevado, etc.

Además hay muchos problemas de decisión en la ingeniería y sistemas de organización

que a pesar de que no tienen la apariencia física de redes pueden ser interpretados como tales. Ejemplo, el flujo de decisiones y la autoridad dentro de una firma industrial pueden ser descriptos por un sistema en red.

En forma semejante la lista de tareas en un proyecto de construcción puede ser vista como una red de actividades.

El traspaso del dinero entre las distintas áreas gubernamentales en el orden nacional o provincial, o en el orden nacional o provincial, o en distintos departamentos en una empresa de construcción, puede ser considerado como una red para el flujo del dinero en el ámbito en que ella se desarrolla.

Es habitual que en estos ejemplos de decisión y organización, los aspectos inherentemente lógicos o de procedimiento, son usados con el propósito de identificar a los componentes y estructurarlos en conjunto en un sistema en red.

Estas redes pueden ser representadas y analizadas mediante- el uso de gráficas lineales que constituyen una valiosa ayuda para el ingeniero en el hallazgo de soluciones a problemas vinculados a este tipo de sistemas.

## **2-GRAFICAS LINEALES COMO MODELO DE REPRESENTACION**

Un sistema de red puede ser representado gráficamente por un conjunto de puntos simultáneamente con una serie de líneas conectando algunos de estos puntos. Una manera simple en el cual el sistema de elementos o componentes es representado por puntos (llamados "nodos") y las interrelaciones o conexiones que existen en el sistema entre los componentes es representado por líneas, (llamadas "ramas") uniendo los nodos pertinentes al diagrama. El diagrama en si mismo es designado un modelo de representación gráfica lineal del sistema.

El diagrama lineal no es dibujado a escala, y las relativas posiciones de los nodos y las ramas no necesariamente representan la actual relativa posición de los componentes. Por esto, el diagrama lineal no debe confundirse con diagramas geométricos.

El propósito fundamental de un diagrama lineal es mostrar una representación gráfica concisa de la interrelación del sistema que es característica para el sistema que constituye el problema. Ello proporciona el camino conceptual para definir el medio ambiente o entorno en el cual el problema está ubicado.

La capacidad del modelo de representación gráfica lineal es mostrada en los siguientes ejemplos:

a) Considerar el problema de un contratista de la construcción que está seleccionando una ruta para trasladar una parte de un equipo pesado de construcción desde Chicago a Urbana, Illinois. El no tiene preferencia entre dos ó cuatro vías de autopista, pero desea evitar viajar sobre caminos secundarios por las limitaciones que existen en los mismos en cuanto al peso de los equipos que pueden circular sobre ellos.

El contratista desea encontrar el camino que requiera el menor tiempo de viaje. Después de estudiar el mapa de autopistas y consultar con autoridades de las mismas, redujo su elección a tres, como está indicado en la figura V.3a. La figura V.3b es un modelo de diagrama lineal de las tres rutas factibles.







Dwght-Urbana, que requiere 170 minutos. La ruta yendo por Bloomington demanda 200 minutos.

Un diagrama lineal está constituido con el propósito específico de ayudar a resolver un problema de sistemas. Por lo tanto, la selección de los parámetros a ser representados en el diagrama debe depender de la naturaleza del problema y del objetivo del sistema.

Supongamos que un ingeniero está preparando un plan de mejoramiento de red de autopistas en el mismo área que se ilustra en la figura V.3; su modelo de diagrama bien puede incluir los siguientes elementos: posibles rutas para nuevas autopistas, carriles adicionales en autopistas existentes, pueblos que necesitan mejorar conexiones a las autopistas para su desarrollo industrial, sitios de recreación, etc. El también puede seleccionar diferentes símbolos en medio de los puntos (nodos) para diferenciar pueblos, ciudades y sitios de recreación, así como diferentes líneas entre las ramas para distinguir las distintas clases de autopistas.

b) En la figura V.4 tenemos un modelo de diagrama lineal de una red de tubería de un sistema de aguas servidas. Las flechas indican las direcciones del flujo, los nodos la unión de las tuberías y los números sobre cada línea la capacidad del flujo en  $m^3/s$  para cada sección de la tubería.

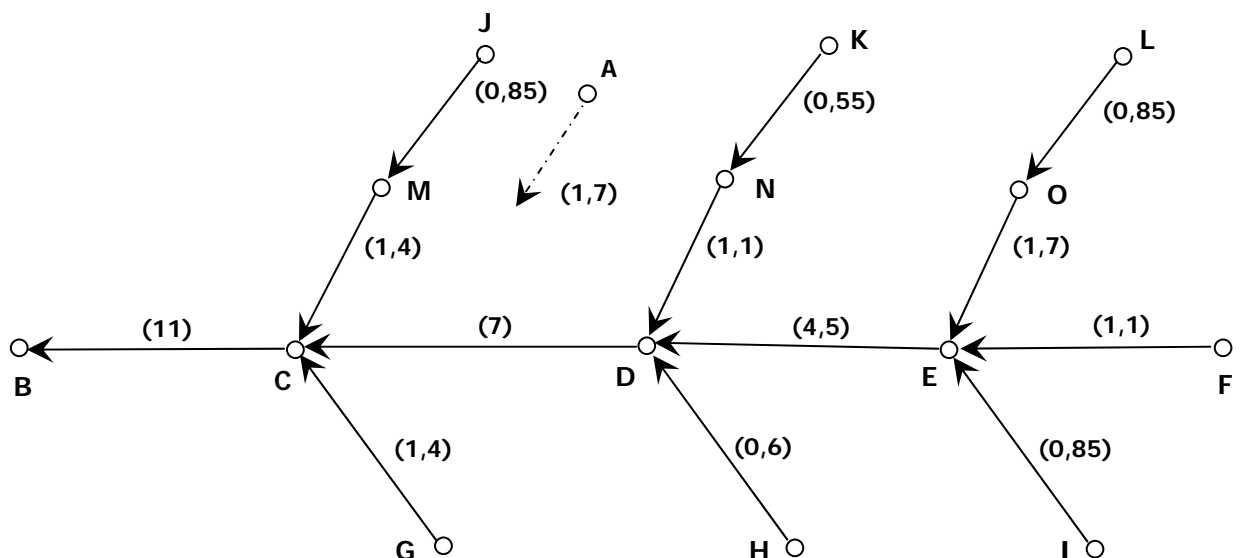


Figura V.4. - MODELO DE DIAGRAMA LINEAL DE UN SISTEMA CLOACAL

Suponiendo que se está desarrollando una subdivisión en A y se requiere un flujo de  $1,7m^3/s$  de capacidad. Por lo tanto el problema básico surge por la cuestión "¿cómo puede la subdivisión conectarse a la red cloaca1 ya existente?".

c) Considerar el problema con que tropieza un contratista que está desarrollando un trabajo en una zona baja cercana a un río, que ha sido en el pasado afectada por las crecientes de aquel y por ocasionales inundaciones destructivas.

Existe un periodo de cuatro meses durante el cual no emplea el equipo que dispone, ya sea en éste ó en otros trabajos. El contratista puede guardar dicho equipo en la zona baja, o sino moverlo hacia afuera del área expuesta guardándolo allí, y luego trasladarlo de vuelta de regreso para continuar la tarea encomendada. El costo total que demanda ello es de U\$S 1.800.

Si lo guarda en la zona baja tiene la opción de construir una plataforma para el equipo a un costo de U\$S 500 lo cual lo protegerá contra un mayor nivel de las aguas, pero no contra una inundación destructiva. El daño que podría ser causado por una elevación de las

aguas en una creciente del río si no dispusiera de la plataforma afectaría al equipo en \$ 10.000.

Una inundación destructiva y la permanencia del equipo en la zona baja sin construir la plataforma le acarrearía daños a aquel por \$ 60.000.

La probabilidad de crecientes (elevado a nivel de las aguas) en el periodo indicado de cuatro meses es de 0,25 y de inundación destructiva es de 0,02.

El contratista tiene que elegir las tres posibles opciones:

1. Mover el equipo y sacar del área expuesta
2. Dejar el equipo en el área y construir una plataforma protectora para resguardarlo
3. Dejar el equipo en el área sin protegerlo

La figura V.5. en un modelo de diagrama lineal para este problema de decisión

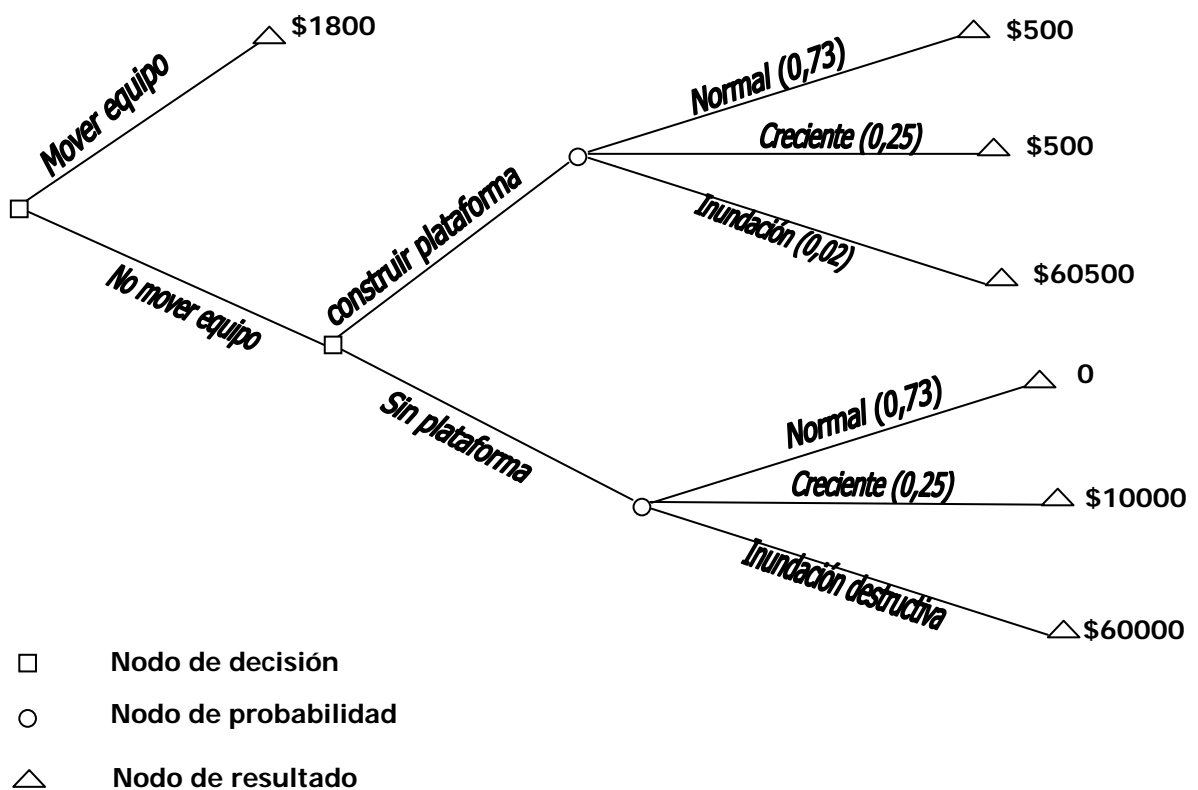


Figura V.5. - MODELO DE DIAGRAMA LINEAL DE UN PROBLEMA DE DECISIÓN DE UN CONTRATISTA

Este tipo de modelo de gráfica lineal es llamado "un árbol de decisión". En el mismo, cada rama representa ya sea una alternativa disponible para el que toma la decisión o un posible resultado que se puede producir por un evento probable y que no se puede controlar.

Un nodo denota ya sea la ocurrencia de un evento ante el cual se tendrá que tomar

una decisión; la ocurrencia de un evento donde el resultado está determinado por una probabilidad; o una condición final.

Los nodos de decisión simbolizados por cuadrados, son aquellos en los cuales el que toma la determinación debe seleccionar un curso de acción entre las alternativas que le son accesibles. Los nodos de probabilidad indicados por círculos, son aquellos en los cuales el que toma la determinación no tiene un control absoluto.

El resultado específico actual de un nodo de probabilidad depende de la naturaleza, pero en este caso para el contratista es modelado en la figura V.5. como un resultado probable, utilizando datos obtenidos en el pasado. Los números sobre las ramas dan la probabilidad del resultado, indicando la verosimilitud de que éstos puedan producirse.

Los resultados definitivos mostrados como nodos triangulares en los extremos del árbol, indican el costo al que toma la decisión, para cada posible combinación de eventos.

Los anteriores ejemplos de modelado de sistemas para varios problemas ilustran el uso de las gráficas lineales como una ayuda para modelar problemas complejos.

El modelado de problemas usando estos diagramas requiere creatividad y un conocimiento completo del problema por parte del investigador.

El proceso de aplicación a problemas de sistemas podría ser descrito de la siguiente forma:

1. Como otros problemas de sistemas, el primer paso consiste en identificar el problema y los componentes del sistema, estructuras y comportamientos o características que están involucrados.

2. El problema debe ser ahora representado como un modelo, de acuerdo con alguna forma representativa y de convenio. En el modelado lineal gráfico, el modelo está limitado al uso de nodos y ramas como forma representativa. Además, se debe asignar una característica a las ramas y los nodos.

3. El problema debe ser puesto en los términos correspondientes a una gráfica estructural que existe en el modelo.

4. El procedimiento de análisis gráfico lineal debe establecer que sea posible procesar las características gráficas del sistema a través del modelo de gráfica lineal.

5. La solución gráfica debe ser transferida de vuelta dentro de la estructura del sistema del problema actual.

### **EJEMPLO DE APLICACIÓN: EDIFICIO EN ALTURA**

Para demostrar la aplicación de los conceptos sobre sistemas y como estos pueden ser aplicados adoptamos como ejemplo la planificación y el diseño de un edificio elevado.

Los edificios de altura son muy comunes en las grandes ciudades porque satisface las demandas sociales para la protección del espacio y atiende a las restricciones impuestas por la limitada disponibilidad de terrenos y su alto costo. El edificio en altura (EA) refleja el impacto de la tecnología y los conceptos creativos profesionales en su altura, forma y uso eficientes de materiales. Además el debe proveer el entorno y los servicios necesarios para atraer inquilinos y clientes, y reunir los requerimientos financieros y de inversión.

El EA muestra las típicas características de un problema de ingeniería de sistema como indica lo siguiente:

- 1) La implicancia del ingeniero en el problema es tal que un número de disciplinas o especialidades son requeridas en un cierto orden para organizar la variedad de aspectos de diseño que deben ser considerados. Así la disciplina de "ingeniería" no puede ser considerada en un contexto aislado.

2) Aunque la tecnología de ingeniería juega un importante papel en la planificación de la construcción, el diseño final debe tener en cuenta los aspectos sociales, económicos y políticos del problema. Estos factores pueden dar mayor racionalidad para las decisiones que aquellas basadas únicamente sobre bases técnicas.

3) La solución de la planificación y proyecto de problemas demanda la interacción entre las distintas disciplinas por la naturaleza interactiva de varios aspectos del problema.

4) Una estructura organizativa es necesaria para resolver los conflictos entre las diversas disciplinas, para ello el armazón orgánico requerido debe mostrar la naturaleza particular y propósitos del EA, y establecer la responsabilidad jerárquica de las varias disciplinas involucradas.

5) Las varias tecnologías y disciplinas que participan dan origen a un gran número de posibles soluciones, incluyendo forma y disposición espacial, siendo necesario un significativo esfuerzo para establecer los propósitos y funcionamiento del edificio. Estos propósitos y funciones de la construcción sirven como base para guiar las tareas de planificación y proyecto.

6) Finalmente, el EA tiene un gran número de componentes de todo tipo que pueden ser manejados para obtener la solución que mejor cumpla las exigencias de la construcción.

Estas consideraciones se presentan con diferentes grados y complejidad en cualquier problema que el ingeniero encara, y ello debe ser evaluado y resuelto inicialmente en la formulación del problema.

Tradicionalmente, las profesiones de arquitectura e ingeniería están involucradas en atender las necesidades habitacionales de la sociedad. El EA proporciona un ejemplo donde, en un severamente confinado espacio destinado a la edificación y con complejas demandas de propietarios e inquilinos, resulta determinante una gran interrelación entre los profesionales en las etapas de definición, proyecto y construcción de la obra.

Gran número de problemas interactuantes se presentan en todas las fases del proceso de construcción, desde su iniciación por un grupo de inversores, hasta su ocupación por inquilinos.

Para una superficie de terreno la accesible y potencial renta se incrementa con la altura. Sin embargo, el incremento de altura del edificio, aumenta los costos de estructura, de servicios mecánicos y de construcción, enfrentándose con las restricciones financieras y rentables de los propietarios y ocupantes.

Los servicios esenciales, tales como ascensores, escaleras, calefacción y 10 aire acondicionado requieren un espacio y el mismo está relacionado directamente con la altura, volumen y la superficie del EA.

Si se maximiza la superficie de los pisos se requiere mejorar la aislación y las propiedades térmicas de las fachadas del EA y éstas inciden en los problemas estructurales y arquitectónicos. Minimizando el espacio de los servicios de ascensores se reducen dichos servicios para inquilinos y clientes determinando así una restricción para los usuarios.

Un problema psicológico se presenta en edificios excesivamente altos los cuales agravado por economías en el número y velocidad de los ascensores así como por las vibraciones estructurales y deflexiones debidas al viento.

Finalmente, las proporciones del edificio y su localización espacial debe ser vista a la luz de la expectativa de los propietarios en la capacidad de ganancia prevista durante la vida del edificio, en relación con el costo inicial y los de mantenimiento.

Muchas decisiones y acuerdos deben adoptarse para resolver las conflictivas e interactivas demandas realizadas para el edificio a construir.

Los problemas involucran más que aspectos tecnológicos y pueden ser divididos en dos amplias áreas:



1) Internos, aquellas asociadas con las demandas del limitado espacio interior del edificio, los servicios asociados, y los requerimientos del entorno; y

2) Externos, aquellos asociados con las demandas creadas por el EA sobre la política social local y el entorno económico al cual está ligado.

Internamente, el problema es definir el diseño y proveer el espacio de aquellos que van a utilizar las ventajas que ofrece el edificio. La locación del espacio produce una amplia cuestión acerca de que espacios son los requeridos, de que extensión y de que nivel económico; ello exige resolver una variedad de cuestiones tecnológicas y un gran número de demandas controversiales sobre el uso del espacio.

La construcción de un EA requiere la combinación de diversas disciplinas profesionales, con cada una de ellas ejerciendo su aporte específico a la solución.

Fundaciones, estructuras, mecánica y eléctrica son las especialidades de la ingeniería involucradas, así como arquitectos y contratistas de la construcción.

Los problemas externos son originados por la necesidad de espacio, su reconocimiento y el intento por satisfacerlo. Aparecen problemas en el entendimiento y evaluación de la demanda y un análisis de mercado debe realizarse para estimar esta demanda.

Un significativo problema resulta de determinar la naturaleza y extensión de las restricciones tales como códigos de edificación y leyes de zonificación que son impuestas por las autoridades municipales. Un análisis debe ser hecho del impacto del EA sobre los varios servicios urbanos (obras sanitarias, energía, transporte, etc.).

Las restricciones impuestas representan de alguna manera un intento de resolver problemas entre partes equitativamente, así la comunidad vecina a la obra no debe ser afectada injustamente en solventar costos adicionales que genera el EA en los distintos servicios.

Problemas de procedimiento surgen durante la ejecución en los aspectos legales, financieros y proceso constructivo, y ellos son de gran importancia en el acto creativo del proyecto del edificio.

Finalmente, la factibilidad económica del proceso íntegro, relacionado con la inversión y la vida Útil, debe ser resuelta para el empresario propietario.

A medida que el ingeniero se introduce en la planificación y proyecto del EA debe resolver alternativas originadas en la naturaleza del problema y en la interacción con los otros componentes o elementos involucrados en la ejecución del edificio. Logra obtener un mejor diseño cuando llega a conocer en forma completa el alcance de los elementos que controlan el proyecto y las consecuencias asociadas con los mismos, así con las disciplinas y los grupos responsables.

Si el profesional está para tomar un papel activo en el proyecto y en la adopción de decisiones su función no es meramente técnica.

Así, para el EA un examen de los varios niveles de sistemas involucrados y el proceso de decisión revelan la actuación del ingeniero en el proyecto.

Inicialmente en el proyecto de un EA inciden cuestiones sociales, económicas y políticas. Estas cuestiones están centradas en la necesidad de espacio, en el mercado potencial para dicho espacio, en la posibilidad económica para proveerlo y en los controles que gobiernan el desarrollo (ordenanzas, entes que brindan servicios).

En este nivel del problema, el propietario-empresario debe establecer el rango de inversiones financieras requeridas para aportar una variedad de soluciones al EA; relativa a la forma y perspectiva de la demanda de inquilinos para cada una de las soluciones que pueden ser dadas. Deberá también negociar con personas del nivel gerencial en los Bancos, para conseguir una flexibilidad financiera que permita optimizar el retorno de las inversiones y seleccionar la mejor solución del EA, atendiendo al asesoramiento profesional sobre el número y tipos de inquilinos más adecuados para establecer una renta que asegure dicho retorno.

El control gubernamental en la forma de códigos de edificaciones o leyes de zonificación se constituye en un factor en cada uno de estos pasos.

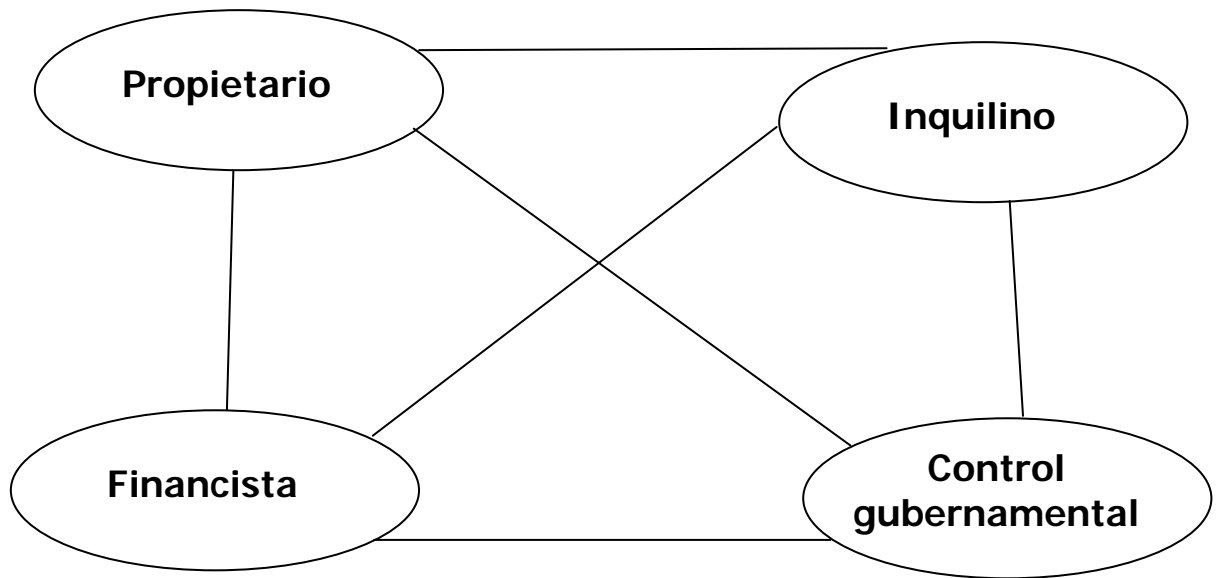


Fig. V.6. AGENTES INVOLUCRADOS EN LA TOMA DE DECISIONES

La figura V-6 muestra gráficamente estas relaciones. Aunque personas o grupos de personas son mostrados en la figura, ellos representan componentes o elementos a este nivel.

Para cada uno de estos elementos, un modelo de necesidad, puede ser usado y desarrollado como base para definir la interacción del sistema, o para exponer los principios básicos que dan origen a nuevos modelos tendientes a la solución de conflictos.

En las figuras V.7 y V.8 se indican modelos típicos de necesidad para el propietario y el inquilino, respectivamente.

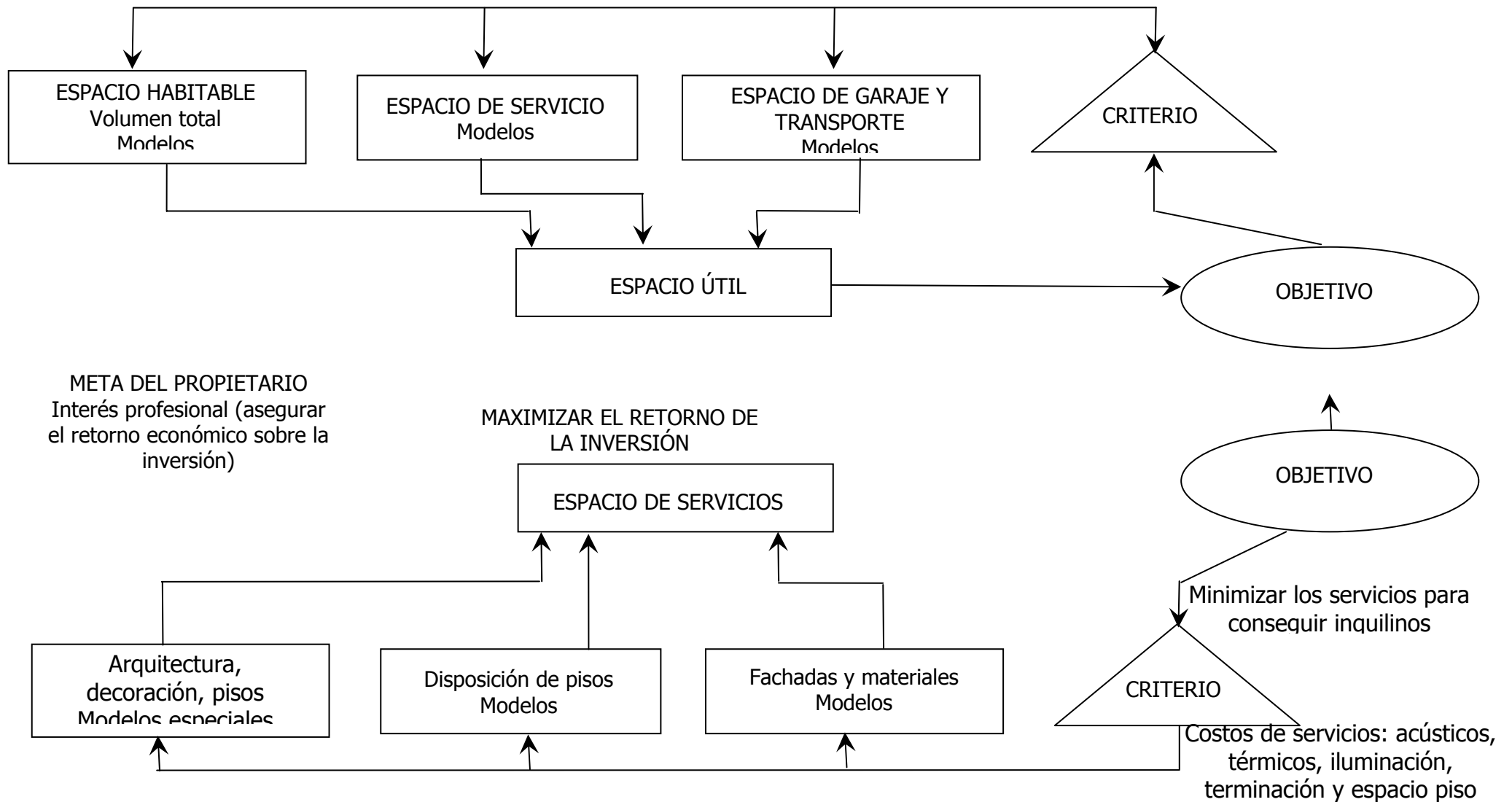


Fig. V.7. MODELO DE NECESIDAD DEL PROPIETARIO

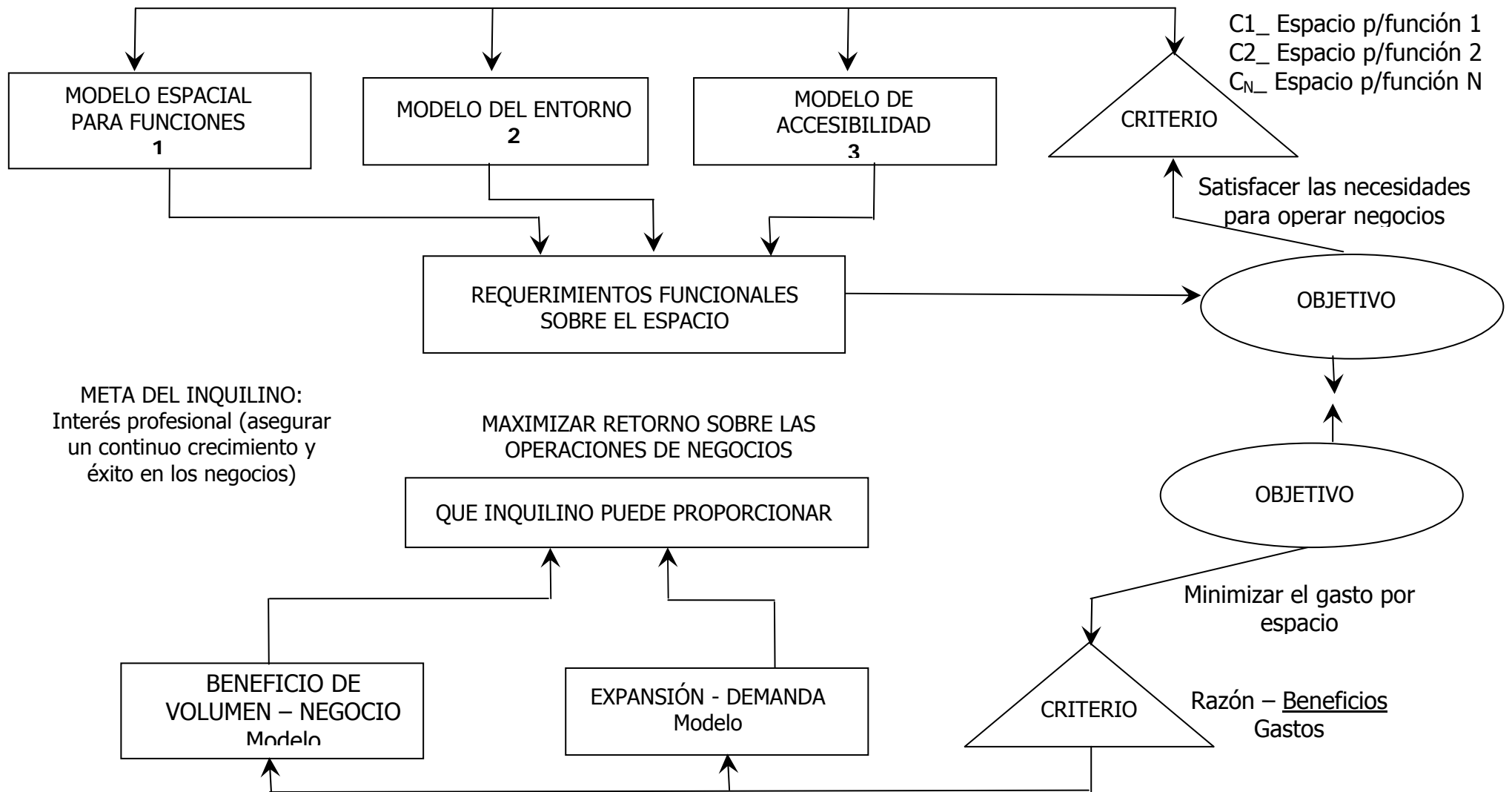


Fig. V.8. MODELO DE NECESIDAD DEL INQUILINO



Modelos de necesidad pueden ser efectuados para el proyecto, para la estructura, para la parte mecánica y eléctrica, para el transporte de personas dentro del edificio, para el planificador urbano que representa al control gubernamental, etc.

La meta del propietario, por ejemplo, puede ser maximizar el retorno de su inversión. Para ello considerará por un lado como objetivo interno maximizar el espacio rentable disponible, y por el otro, como objetivo externo, minimizar las necesidades de servicios para atraer inquilinos. Su criterio para medir el éxito de reunir los dos objetivos puede ser la relación entre los costos inicial y de mantenimiento en la vida útil del edificio, con la renta potencial, y el costo de servicios (acústicas, térmicos, de iluminación, nivel de terminación, etc.).

En este nivel del problema el énfasis es sobre el establecimiento de conceptos de amplias posibilidades para proveer espacios y sus requerimientos característicos.

Habiendo adoptado estas decisiones iniciales, el propietario debe ahora involucrar las disciplinas profesionales para la planificación y el proyecto.

La naturaleza del edificio y sus componentes van a determinar las disciplinas profesionales necesarias. Atendiendo al número de disciplinas involucradas, el propietario no trata con cada una individualmente y elige un agente coordinador a través de quien el trata con varias disciplinas.

Por ejemplo, la siguiente situación demuestra la diferente estructura organizativa que puede resultar:

1) Para el problema del edificio típico con numerosas alternativas, el arquitecto sirve normalmente como coordinador de las distintas disciplinas e interactúa con el propietario.

2) El ingeniero estructural debe ser el agente coordinador cuando los aspectos estructurales son los dominantes en el problema. Ejemplo puentes, presas, estructuras de edificios de gran altura, etc.

3) Para una construcción específica que es única, tal como un complejo de estacionamiento, el ingeniero de transporte va a ser dominante porque las consideraciones de tráfico son críticas.

4) Para un conveniente proyecto y construcción de un edificio, la situación puede definir la conveniencia como coordinador del proyectista-constructor, en el cual asume el papel primordial el contratista-constructor.

El papel directivo y las relaciones resultantes con otras disciplinas proveen la estructura del sistema para la interacción de los componentes y el camino en el cual las disciplinas operan y resuelven los conflictos.

El propietario representa el nivel del sistema inmediatamente superior al del proyectista, al del ingeniero estructural al de servicios mecánicos y eléctricos, etc. Las metas del planificador urbano están directamente relacionados con los objetivos del control gubernamental.

Los niveles de sistemas inferiores están caracterizados por el incremento de la especialización profesional y enfocados sobre el funcionamiento, información y sistema de datos.

El ingeniero debe reconocer el nivel del sistema en el cual está trabajando y determinar el alcance de influencias y limitaciones de conocimientos que le son impuestas. Si esto se verifica, puede proponer diseños alternativos, desarrollando las técnicas relevantes, proponiendo modelos y justificando su toma de decisiones en relación con el problema. Los pasos que el ingeniero puede seguir en la búsqueda de soluciones para el problema pueden esquematizarse a través de la figura V.9.

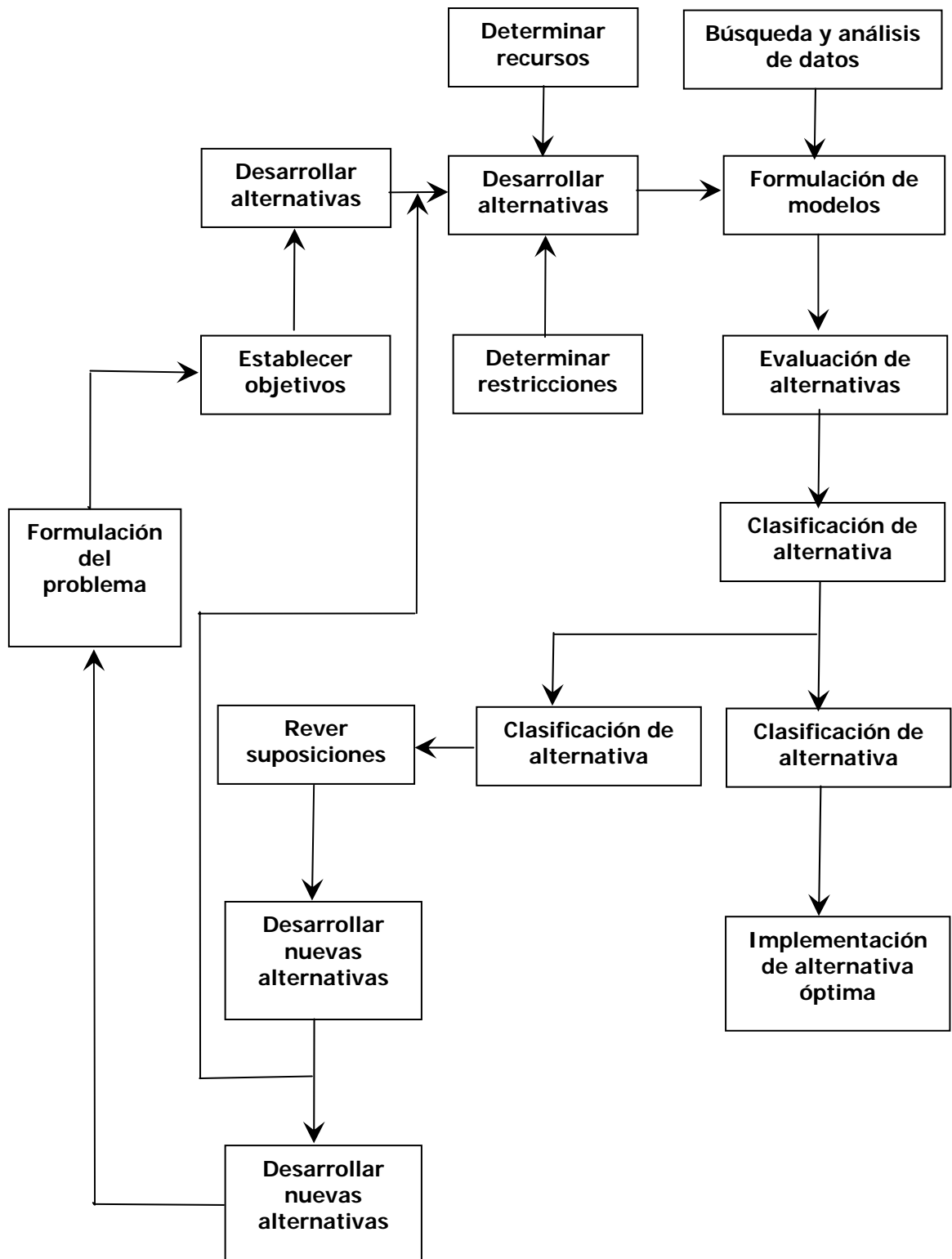


Figura V.9. ESQUEMA DE LOS PASOS A SEGUIR EN LA SOLUCION DE PROBLEMAS

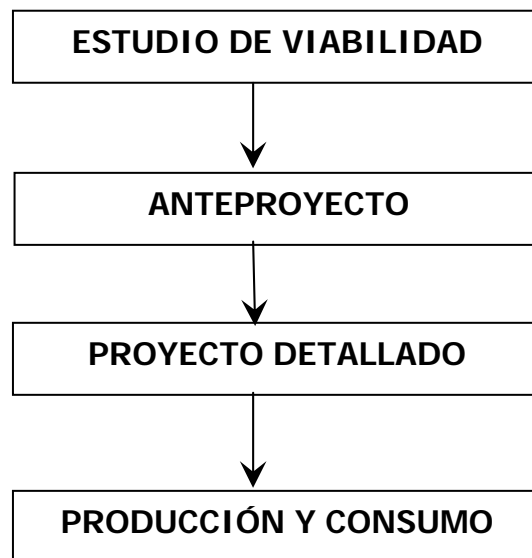
## **CAPITULO VI- METODOLOGÍA PARA DESARROLLAR UN PROYECTO**

En todo proyecto se debe establecer el orden sistemático de las tareas que es necesario efectuar para el desarrollo del mismo, permitiendo un trabajo más eficiente y de menor costo. Cada uno de los pasos de la metodología es una unidad semi-independiente que tiene su vida propia y su personal especializado para efectuarlo, determinando así los diferentes especialistas y cuando son ellos necesarios.

El desarrollo de un proyecto de importancia es controlado por un equipo administrador que además de coordinar las diversas actividades debe conocer las erogaciones a efectuar en las distintas etapas para poder proveer la financiación correspondiente.

En general se acepta que las tres etapas siguientes son indispensables para desarrollar un proyecto, a saber:

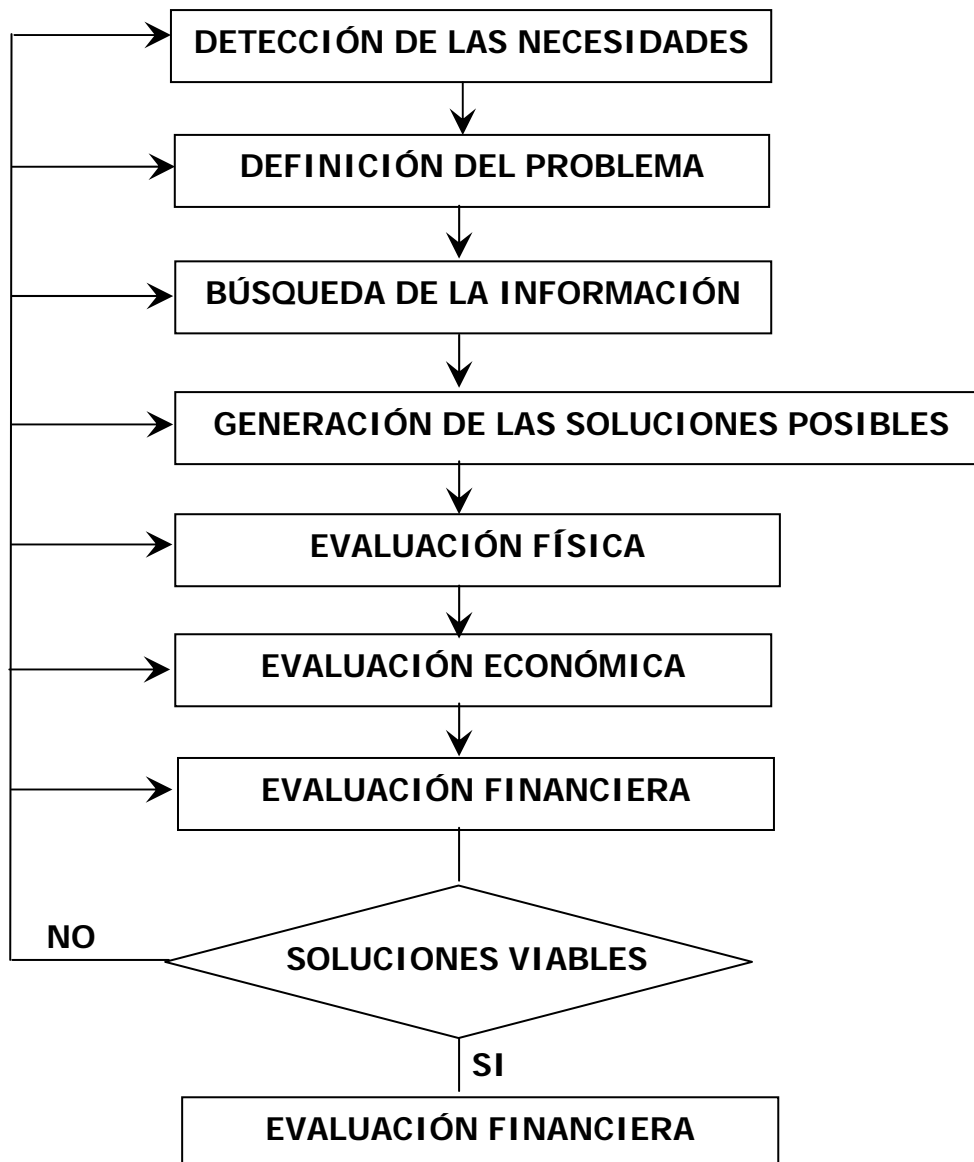
- 1º) Estudio de viabilidad
- 2º) Proyecto preliminar o anteproyecto
- 3º) Proyecto final o de detalle



### **1-ESTUDIO DE VIABILIDAD**

El estudio de viabilidad permite determinar si el proyecto que se ha propuesto puede ser efectuado o si se debe desechar y no asignar más recursos para proseguir con él.

Las etapas para definir la viabilidad de un proyecto la indicamos en el diagrama a continuación:



### 1º) Detección de las Necesidades

El ingeniero se debe a la solución de una necesidad ya sea detectada por él o por otra persona y determinar si esa necesidad es evidente o no, y darle solución.

En la ingeniería civil son en muchos casos los entes oficiales que detectan las necesidades por ejemplo una nueva presa, un camino, el mejoramiento de la distribución de agua potable, un canal, una red cloacal, etc.

Pueden también surgir de una necesidad para mejorar la ejecución de obras, como la prefabricación, la producción de encofrados metálicos o cimbras para la construcción de puentes, etc., y es en esta clase de necesidades donde el proyecto de ingeniería debe contemplar la etapa de producción y consumo.

En el proyecto de un camino, puente, muelle, etc, el producto se ejecuta una sola vez y por lo tanto la etapa final es el proyecto de detalles.

En la solución de los problemas de ingeniería, para comprender su naturaleza, debemos conocer el entorno en el cual el problema está inmerso y el fenómeno de respuesta que está asociado.

Existen limitaciones al alcance a dar a la investigación del problema y estas limitaciones deben ser reconocidas en la formulación de la solución.



Veamos algunos ejemplos que demuestran la alta complejidad de los problemas de ingeniería, así como la interacción con el entorno en la respuesta al problema dado.

a) La interrupción del tráfico en una autopista urbana puede traer no solo un impacto sobre la autopista sino también sobre todo el sistema de transporte de la ciudad. De la misma manera una mejora en la autopista puede afectar al sistema total de transporte.

b) Una tardanza en la entrega de un material puede demorar la ejecución de una obra con el resultado del desempleo temporario de los obreros.

Los dos casos anteriores muestran la respuesta del entorno al estímulo exterior, y permite al ingeniero analizarlo desde dos aspectos diferentes.

1°) El estímulo disturbador define la causa del problema y permite al ingeniero dirigir su atención a la solución de la causa.

2°) Cuando se propone una solución a un problema la propuesta se convierte en un estímulo disturbador y el ingeniero debe interesarse por las consecuencias que resulta en todo el entorno afectado.

Así el ingeniero debe tratar el problema y su entorno como un todo por sus aspectos interactivos

## 2°) Definición del problema

Detectado el problema o la necesidad se debe definirlo. En esta definición se deben incluir todos los elementos que concurren al problema y delimitar claramente las características del mismo.

Ejemplo: Se necesita un método más eficiente para calentar agua.

Preguntas: ¿Para que fin? (puede ser industrial comercial o casero) ¿En que región? ¿Que demanda existe? ¿Qué límite de precio?

Para la definición del problema es fundamental el conocimiento del entorno porque toda solución propuesta debe ser asimilada por el entorno, que puede provocar el fracaso al rechazar la solución concebida, y este rechazo puede ser físico que es cuando la solución falla; económico o financiero al no ser factible la solución con los recursos disponibles o no ser rentable; y político o social cuando la solución no es permitida o no es aceptada.

El ingeniero a cargo de un proyecto no debe dar una definición preconcebida del problema, o adoptar inicialmente un modelo particular que no contemple un estudio adecuado del entorno.

La definición del problema debe encararse como un análisis de sistema lo que permitirá al ingeniero a cargo del proyecto, un conocimiento adecuado del problema y su interrelación con el entorno.

Se dice que en la ingeniería, la definición obtenida como resultado del análisis de las necesidades y efectuada con cuidado y reflexión incide en un gran porcentaje en la solución del problema.

## 3°) Búsqueda de la Información

En todo proyecto debe contarse previamente con una información lo más completa posible dentro de las limitaciones de tiempo y recursos económicos que deben invertirse en esta etapa.

El tiempo y los recursos estarán determinados por la magnitud del proyecto y su influencia posterior con el entorno, siendo muy distintos los recursos que se asignen a la búsqueda de información para el proyecto de una presa que para el de una alcantarilla.

Las fuentes de información pueden ser:

a) Reparticiones oficiales afectadas directamente al problema: hidráulica, vialidad, vivienda, etc.

b) Fabricantes de elementos o equipos a usar en el proyecto, máquinas viales, dispositivos de apoyo para puentes, elementos de pretensar, etc.



c) Contratistas o subcontratistas que ejecuten una parte de la obra, empresas de pilotaje, empresas de grúas, o montaje, etc.

La ingeniería de proyecto es en gran medida la búsqueda de información, y una adecuada información permite facilitar la realización de la tarea.

#### 4°) Generación de las soluciones posibles

Esta etapa es la síntesis de los conocimientos de los ingenieros involucrados en el proyecto y siendo la ingeniería una profesión creativa, la formulación de soluciones posibles es un paso de intensa actividad en ese campo.

Según la magnitud del proyecto y su complejidad variará la cantidad de ingenieros y especialidades que intervendrán en la investigación de soluciones. Además ella puede ser desarrollada en forma individual o en grupos, y en este último caso la discusión e interacción puede originar un número mayor de soluciones.

No debe rechazarse ninguna solución "a priori" que satisfaga la necesidad establecida, por cuánto la selección de la solución a adoptar se analizará después, con las valuaciones correspondientes.

#### 5°) Evaluación Física

Todas las soluciones propuestas se someterán a este análisis que en general determina su factibilidad de concreción y en el que se deben considerar distintos aspectos:

¿Es posible su realización desde el punto de vista estructural?

¿Con los materiales existentes puede ser ejecutada?

¿Los métodos constructivos permiten efectuarla? ¿Se pueden implementar nuevos procedimientos?

¿Existen limitaciones de carácter físico que impidan la realización?

Si de las soluciones propuestas ninguna es factible se deben buscar nuevas soluciones, (retornar al paso 4) lo que muestra el carácter cíclico de la actividad del proyecto.

#### 6°) Evaluación Económica

De las soluciones que son físicamente realizables se hace una evaluación económica que en esta etapa será para conocer la magnitud de los costos y comparar todas las soluciones seleccionando las que mejor satisfagan las necesidades con un menor costo. La evaluación económica de proyectos ha sido tratada en la asignatura correspondiente.

#### 7°) Evaluación Financiera

Conociendo el costo de las diversas soluciones se debe examinar si existen medios financieros para la implementación del proyecto y se buscan los medios de financiamiento que pueden ser:

a) Bancos o financieras

b) Reparticiones oficiales

c) Inversionistas privados

d) Organismos internacionales

Con las soluciones que sean financieramente factibles se pasa a elaborar el anteproyecto.

Si no hubiera ninguna solución que satisfaga la valuación financiera se debe regresar aquellos pasos en que se detectaron fallas y realizar las modificaciones necesarias.

Ejemplo: Analicemos un ejemplo para la aplicación de un Estudio de viabilidad.

##### 1°) Detección de Necesidades

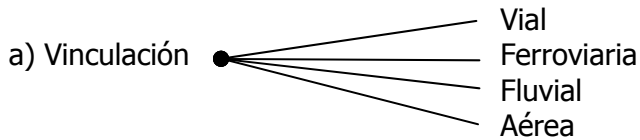
El problema a tratar consiste en mejorar la vinculación entre dos ciudades

##### 2°) Definición del problema

Para delimitar el problema debemos plantear los factores que inciden en el mismo,

podríamos preguntarnos:

- a) ¿Qué tipo de vinculación puede establecerse entre esas dos ciudades?
- b) ¿Qué se quiere transportar?
- c) ¿Qué capacidad debe reunir esa vinculación para cubrir la demanda?
- d) ¿Qué tipo de restricciones existen?



- b) Para el transporte de mercadería o personas
- c) Volumen de transporte
- d) Precio limite

### 3º) Búsqueda de información

Las fuentes de información pasa el trabajo: -Reparticiones Oficiales -Cámaras Empresarias de los posibles usuarios -Estudios destinados a obtener datos sobre volúmenes de cargas y tipos de cargas, número de pasajeros, etc. -Análisis de precios que presentan las distintas alternativas.

### 4º) Generación de posibles soluciones

Mejoramiento de las rutas existentes

Nuevas rutas

Incremento de densidad de trenes y clase de los mismos (cargueros, o de pasajeros.)

### 5º) Valuación física

Cada posible solución se someterá a un análisis de este tipo, para comprobar si es factible su realización. Las soluciones suelen en general ser factibles, pero dependen del monto del capital.

### 6º) Valuación económica

Se analiza el costo de cada solución incluyendo los originados por el mantenimiento futuro.

Estudio de rentabilidad.

### 7º) Valuación Financiera

Se analiza la posibilidad financiera de cada solución.

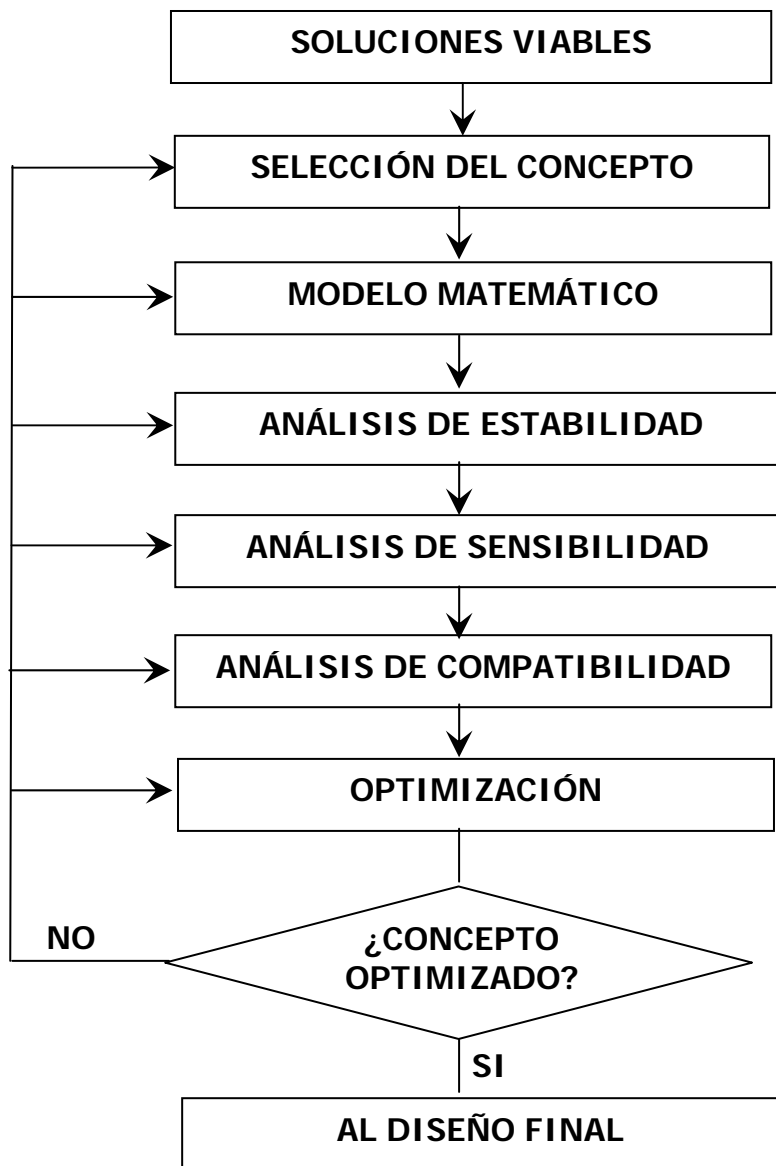
El estudio de viabilidad quedará concluido cuando una o más soluciones resulten factibles y pueda iniciarse el proyecto preliminar o anteproyecto.

## 2-PROYECTO PRELIMINAR O ANTEPROYECTO

Es el conjunto de antecedentes y datos que permitan demostrar la factibilidad técnica, económica, financiera, y política o social y las ventajas y desventajas que ofrece el sistema que se prevé realizar.

El objetivo del anteproyecto es presentar un estudio técnico y económico para evaluar y decidir sobre un proyecto.

Se pueden considerar en el Anteproyecto varios pasos o secuencias.



### 1) Selección del Concepto

Conforme a los estudios de viabilidad se han obtenido varias alternativas posibles. No se pueden desarrollar todas y es en este paso donde debemos decidir que alternativa se desarrolla, para lo cual vamos a hacer uso de un procedimiento que veremos más adelante de cómo elegir entre varias alternativas, aquella que en base a ciertos criterios específicos, sea la más apropiada para su estudio posterior.

### 2) Modelos

El modelo es una imagen de la realidad. Esto no significa que todos los modelos sean simples por cuánto la complejidad del modelo depende del objeto o proceso que se representa y del propósito de la investigación.

Hay varias clases de modelos que pueden ser:

a) Modelos iconográficos, o representación física de la realidad, planos, maquetas o fotografías, diagramas, mapas, etc. La utilidad principal es su bajo costo y en la comprensión más inmediata que se tiene del sistema que se analiza.

b) Modelos analógicos, o representación esquemática del flujo de un proceso de



operación dinámico. La característica principal de estos modelos es que se comportan como la realidad, P. Ej.: el cauce de un río, la velocidad de la comente, la acumulación y filtración de agua, pueden estudiarse por medio de un circuito eléctrico con los elementos necesarios e ir cambiando la corriente, el voltaje o la resistencia para representar cambios hidrológicos y de esta manera analizar el sistema.

c) Modelos matemáticos, representan la situación en términos matemáticos y son empleados por los ingenieros para representar en forma simbólica (mediante ecuaciones) el comportamiento de una sistema. Por su fácil manejo y por la ayuda que prestan hoy en día las computadoras los modelos matemáticos son el medio más económico y más poderoso para analizar un sistema.

Los ingenieros usan estos modelos para diferentes propósitos, pero para desarrollar un modelo las etapas a cumplir son las que corresponden a análisis de sistemas: la delimitación del sistema, la identificación de los elementos constitutivos, el análisis de sus componentes y la síntesis final, para la obtención del modelo buscado.

Para lograr la confección de un modelo, es necesario identificar no solo los elementos del sistema, sino también a sus relaciones. Esto requiere un período de esquemas y figuras antes de lograr las ecuaciones, cuando se trate de modelos matemáticos.

### 3) Análisis de Estabilidad

Todo sistema responde a ciertas perturbaciones. Algunas de ellas pueden influenciar el comportamiento del sistema, o si la perturbación es de gran magnitud el sistema puede tener fallas importantes.

El análisis de estabilidad tiene la finalidad de determinar que perturbaciones pueden alterar el sistema, o producir su falla. Este estudio se hace variando los parámetros y observando los resultados obtenidos

| Sistema            | Perturbación     | Resultado                     |
|--------------------|------------------|-------------------------------|
| Edificio           | Asentamiento     | Grietas; distorsiones         |
|                    | Terremoto        | Derrumbe; colapso estructural |
| Circuito eléctrico | Voltaje bajo     | Calentamiento                 |
|                    | Voltaje elevado  | Elementos que se funden       |
| Motor              | Mal enfriamiento | Calentamiento                 |
|                    | Vibraciones      | Fatiga del metal              |

### 4) Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad es una extensión del análisis de estabilidad; consiste que determinado los elementos que pueden afectar el comportamiento del sistema, se deben establecer los valores límites de dichos elementos que pueda aceptar el sistema sin que se produzcan situaciones graves. En los ejemplos anteriores un asentamiento de uno o dos centímetros en un edificio puede no afectarlo, pero asentamientos mayores pueden influir negativamente (aparecen fisuras).

### 5) Análisis de compatibilidad

Cada sistema se integra con subsistemas cuyo objetivo es actuar en forma conjunta para un eficiente comportamiento del sistema total. Por ello la salida de un subsistema debe ser compatible con la entrada en el subsistema acoplado.

El análisis de lo expuesto se efectúa en base a un modelo matemático, mediante un estudio cuidadoso de las entradas y salidas de los subsistemas y la entrada y salida de éstos del sistema general.

#### 6) Optimización

La ingeniería es el uso de recursos de una forma óptima, por lo tanto la optimización es un aspecto muy importante de la ingeniería de proyectos. Este paso consiste en encontrar aquella combinación de elementos que producen el mejor resultado posible dentro de ciertas restricciones, al ser modificados de una manera óptima. En cada uno de estos pasos se sigue el proceso de iteración cambiando continuamente el proyecto para obtener esa solución.

### 3-PROYECTO FINAL O DE DETALLE

En esta etapa se elaboran los planos y maquetas con todos los detalles necesarios para la ejecución del proyecto. También los cómputos, análisis de precios y costos, así como las especificaciones técnicas generales y especiales y el pliego de condiciones que regirá la ejecución del proyecto.

En la elaboración del proyecto detallado se pueden considerar los siguientes pasos:



#### 1º) Diseño de subsistemas

El resultado final del proyecto es un sistema que satisfaga las necesidades planteadas, este sistema estará integrado por subsistemas que deben ser compatibles para que el sistema funcione correctamente.

Ejemplo:

El sistema principal "Puente" estará integrado por los subsistemas "Tablero" e "Infraestructura".

Así el "Tablero" estará dimensionado de acuerdo a las luces de la "Infraestructura" y será necesario determinar correctamente la función de cada subsistema.

"Tablero" soportará el tránsito y hará que el mismo circule con seguridad y sin dificultades, "Infraestructura" transmitirá las cargas del "Tablero" al terreno y permitirá el escurrimiento de las aguas en el tramo salvado por el "Puente".

Estos subsistemas deberán modificarse para obtener el resultado más eficiente y optimizados de acuerdo a un criterio determinado.

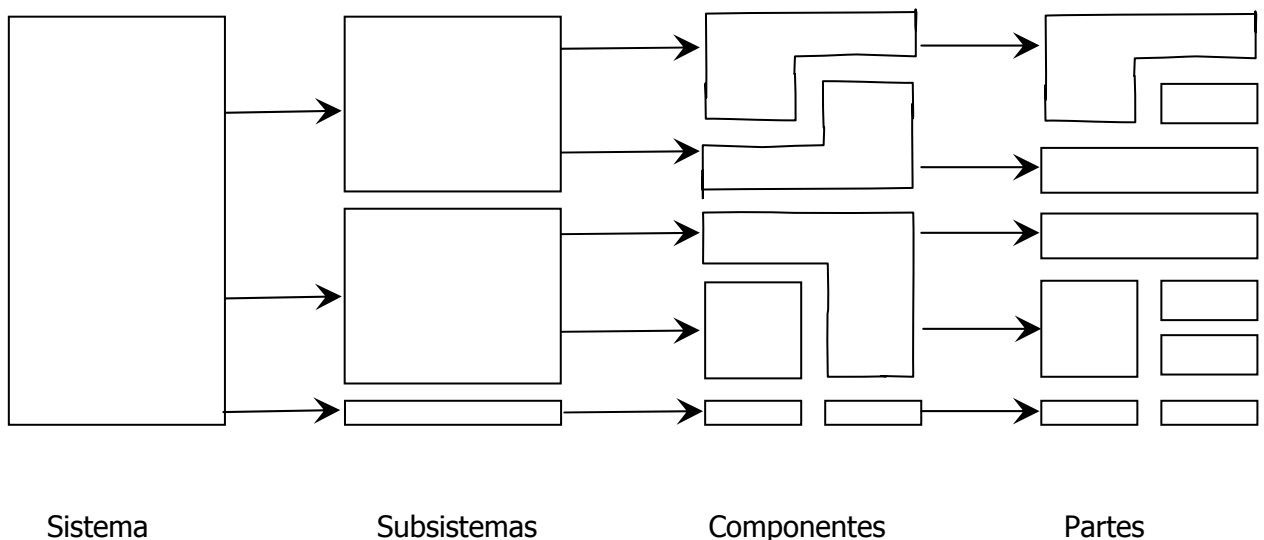
### 2º) Diseño de componentes

Es el proyecto de los componentes que forman un subsistema; en el subsistema "Tablero" los componentes son losas, vigas, veredas, barandas, carpetas de rodamiento, etc., y en el Subsistema "infraestructura" los componentes están dados por los pilares, estribos, aparatos de apoyos, fundaciones etc.

### 3º) Diseño de partes

Esta etapa es el diseño detallado de las partes integrantes de los componentes; en el componente viga las partes constitutivas son las armaduras, encofrados y cimbras, o si son metálicos son los perfiles, uniones, etc.; en el componente fundaciones las partes son pilotes y cabezales.

Luego de diseñadas las partes se pasa a la siguiente etapa Podemos imaginar los tres pasos anteriores como una separación cada vez más minuciosa y definida de la solución, cuidando de mantener la compatibilidad de cada elemento para lograr un funcionamiento correcto.



Detalle en el diseño de los elementos de un sistema

### 4º) Preparación de los planos y especificaciones

En esta etapa deben ser diseñados los planos con todos los detalles y dimensiones exactas, el tipo de material usado, etc. También se deben especificar los métodos constructivos a emplear, lanzamiento, por voladizo sucesivos, etc. Se redactarán las especificaciones técnicas que se refieren a los materiales a usar, los ensayos para control de calidad de los mismos y el pliego de condiciones generales donde conste el cómputo de los



distintos ítems, precios y plazos de ejecución.

También debe elaborarse el plan de inversión.

Si se diera el caso se debe continuar con:

#### 5°) Construcción del prototipo

Los resultados de un proyecto pueden ser dos, la construcción y la producción. En el caso de un proyecto cuyo fin sea la creación de un solo sistema (un puente, una ruta, un dique, etc.), es la construcción misma del proyecto. En el caso de un proyecto que quiera repetirse gran número de veces (un televisor, un automóvil, etc.) entonces el prototipo será el primer sistema que se construya y su finalidad será verificar si el sistema funciona en forma correcta.

#### 6°) Valuación del prototipo

Para un proyecto único la valuación se lleva a cabo durante un período determinado de tiempo, verificando su funcionamiento.

Lo mismo sucede en la valuación de un prototipo de producción estableciendo pruebas en el laboratorio y pruebas en condiciones reales fuera de éste (de campo), para comparar los resultados obtenidos con los resultados previstos en la etapa del proyecto preliminar. Si aquellos concuerdan con estos, el proyecto está listo para entrar en la etapa de producción, si no concuerdan será necesario revisar y modificar el proyecto en sus distintas etapas para obtener los resultados esperados.

#### 7°) Preparación para la producción

Esta última etapa implica asignar el tiempo y dinero necesario para la instalación de la fábrica y la maquinaria que se requiera emplear.

Se deberá elaborar un presupuesto de producción y adquirir el material para iniciar la fabricación.

Así el proyecto llega a su término.

El control de calidad, la valuación del sistema en producción y las necesidades cambiantes llevarán a los ingenieros a desarrollar un nuevo proyecto, ya sea por evolución o innovación, e iniciar así nuevamente el ciclo de un proyecto de ingeniería.

### **Simplificación de modelos**

El modelo, como se ha visto, sirve ya sea para el conocimiento del sistema como para la predicción de su comportamiento.

Para lograr esto plenamente, se han desarrollado, a veces, modelos formados por miles de ecuaciones.

Si la aplicación de modelos reducidos presenta en algunos casos serias dificultades, se comprende como se multiplicarán estas en modelos complicados, razón por lo cual deben evitarse en lo posible.

Los modelos extensos surgen a veces por la tendencia de incorporarles la mayor cantidad de componentes del sistema.

Cuando se sigue esa tendencia, puede ocurrir que el modelo sea más complicado para entender, que el sistema mismo.

Cuánto más extenso sea el modelo, mayor será el número de soluciones a analizar, lo que significa un tiempo difícil de disponer en ingeniería de proyectos. Esta es una de las principales razones para la simplificación.

Otra razón para efectuar simplificaciones es que en grandes modelos se presenta el riesgo de no reconocer alguna de las variables importantes, que tienen una influencia determinante sobre el comportamiento del modelo, considerándose en cambio otras que no inciden en forma significativa.

La tarea de simplificar un sistema para crear un modelo requiere un conocimiento profundo del sistema, de la importancia de sus variables y experiencia del proyectista para la correcta elección de las hipótesis simplificadoras.

En el modelo se deben incluir todas las variables fundamentales porque de ello dependerá la validez de los resultados obtenidos, con respecto a la realidad.

Las simplificaciones pueden ser efectuadas cuando el error introducido por la simplificación es despreciable, por la poca influencia en el resultado final.

Estas simplificaciones facilitan la construcción del modelo, el análisis de los resultados e influyen favorablemente en la economía, sin que los resultados obtenidos presenten errores superiores a los admisibles en ingeniería.

La simplificación de un sistema que se modela, puede ser hecha, por eliminación o por concentración.

Se eliminan algunos componentes variables cuando se supone que su incidencia no aporta modificaciones apreciables en el comportamiento del modelo. Pueden eliminarse o ser reemplazados por una constante, según resulte más conveniente.

Se concentran las variables, cuando pueden agruparse varias de ellas en una sola, o bien puede suponerse variación lineal de una función, aun cuando en realidad esto no se produzca, pero la suposición no altera apreciablemente el resultado en el rango de aplicación.

Son necesarias numerosas hipótesis simplificadoras cuando se modela un sistema complejo. Para manejar acertadamente esta hipótesis, es necesario conocer con precisión el objetivo que se persigue con el modelo, ya que esa premisa condicionará las simplificaciones admisibles y la mayor o menor complejidad del modelo.

Para ser simple, un modelo no debe ser concebido para explicar el comportamiento de un sistema en todos sus detalles sino en aquellos que realmente interesan.

En general no debe pretenderse explicar con un solo modelo el comportamiento completo del sistema. Es aconsejable utilizar modelos parciales. Así por ejemplo, en un sistema estructural, se hallará un modelo para determinar sus deformaciones elásticas y otro para determinar su resistencia. Esto no significa que después no puedan combinarse en un mismo programa de computación.

### **Confiabilidad del modelo**

La mejor manera de saber si un modelo es confiable consiste en verificar si las conclusiones del modelo coinciden con las observaciones pasadas o presentes del sistema, en el aspecto de la aplicación que interesa. En resumen, la única forma de verificar con rigurosidad un modelo, es probarlo y compararlo con el sistema real que pretende representar.

Es necesario considerar que el modelo es un esquema, trata de imitar al mundo real en forma simplificada; sus resultados no tendrán valor si no son confirmados por la respuesta del sistema real.

En problemas complejos, donde no es posible establecer la función transferencia de modo que pueda dar una respuesta que coincida con la del sistema real, podrá bastar con la indicación de una tendencia. Esto permitirá ir conociendo las características del sistema e ir perfeccionando el modelo.

## CAPITULO VII- MODELOS MATEMÁTICOS PARA SISTEMAS DE INGENIERÍA Y MODELOS PREDICTIVOS

### A- MODELOS MATEMÁTICOS

#### 1) Introducción

Un modelo es una representación de algún objeto o condición que existe o de un problema que se considera. El contiene información expresada en ciertas formas específicas del modelo del objeto y requiere interpretación de acuerdo a ciertas reglas predefinidas. Generalmente el medio de modelado es el simbolismo de las matemáticas y requiere la lógica y la comprensión de ella para su interpretación.

En muchos casos los modelos matemáticos requieren el soporte de modelos descriptivos y esquemáticos para definir la estructura del modelo y ayudar en la interpretación de los símbolos y variables usadas.

Un modelo matemático puede entonces ser considerado como formado por cuatro modelos básicos:

- 1) Un modelo descriptivo del problema y propósito
- 2) Un modelo de descripción simbólica con los símbolos, variables, parámetros y constantes usadas en el modelo mismo
- 3) Un modelo esquemático ilustrando la interpretación de los símbolos y la interrelación de los sistemas componentes
- 4) Modelo matemático

Como indica la figura VII.1 los primeros tres modelos componentes definen la manera como el modelo matemático (componente 4) va a ser interpretado.

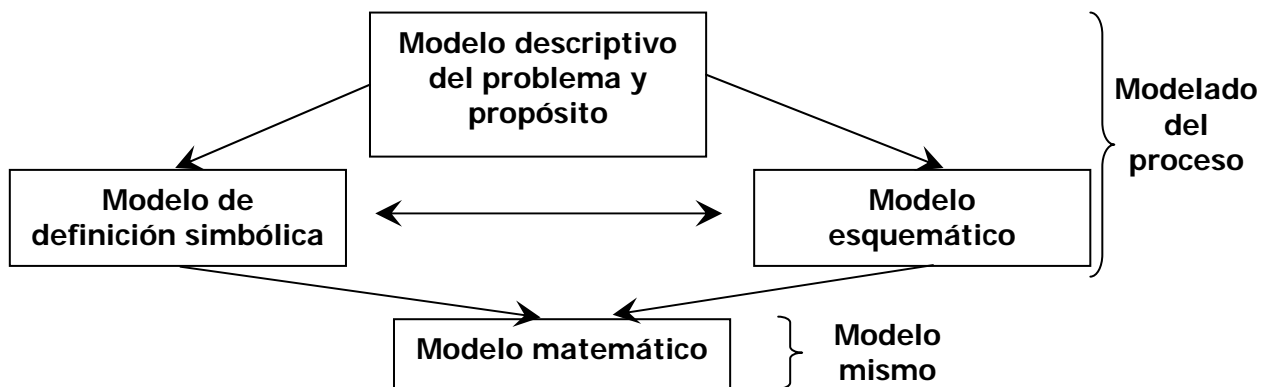


Fig. VII.1. COMPONENTES BÁSICOS DE UN MODELO MATEMÁTICO

En el modelado matemático de un sistema de ingeniería cada componente de sistema puede requerir el modelado de sus componentes, como lo indica la figura VII.1.

#### 2) Uso Fundamental de los Modelos

Como ilustración de un proceso de modelado y las varias clases de modelos usados en

la solución de un problema a considerar, veamos el siguiente ejemplo.

**Modelo 1** - Modelo descriptivo y propósito

Una barra recta uniforme de longitud especificada está hecha de un material elástico liviano. La barra cuelga verticalmente de un soporte y tiene aplicada en su extremo inferior una carga axial, deformándose dentro de un rango dado.

Este modelo es un planteo del punto de vista del modelador y de como él realiza la evaluación del problema que existe en la realidad.

La propuesta del propósito del modelo y el sistema de restricciones constituyen un paso crítico por cuanto su definición provee los requerimientos y objetivos para el modelo final.

**Modelo 2** - Definición simbólica del modelo

Haciendo

A: es el punto de conexión de la barra al soporte

B: es el punto extremo o inferior de la barra

L: longitud de la barra en cm.

$A_x$ : es la sección transversal de la barra en  $cm^2$

E: es el módulo de elasticidad del material en  $kg/cm^2$

P: es la fuerza axial a lo largo de la barra en kg

$\sigma$ : son los esfuerzos en la barra en  $kg/cm^2$

$\xi$ : es la deformación específica de la barra

$\Delta L$ : es la deformación de la barra en cm

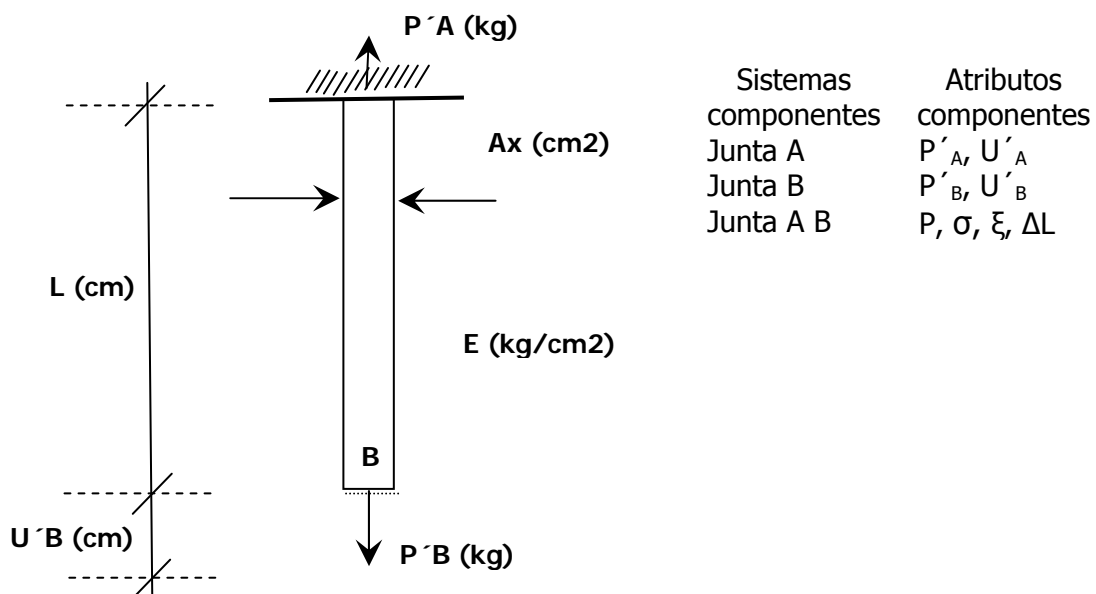
$P'_B$  y  $P'_A$ : son las cargas aplicadas en el extremo B y la reacción en A, respectivamente, en kg

$U'_B$  y  $U'_A$ : son los desplazamientos de los puntos B y A, respectivamente, en cm.

$\Delta$ : Es el máximo movimiento admisible de la carga aplicada en B, en cm.

El Modelo 2 es la interface entre el conocimiento del modelador del problema real y los requerimientos de un modelo tecnológico específico. Estos símbolos, en efecto, representan los sistemas componentes y sus atributos relevantes para el problema.

**Modelo 3:** EL modelo esquemático





**Modelo 4:** Modelo matemático de comportamiento de la barra

Peso de la barra despreciable

P= constante

$$\sigma = \frac{P}{A_x} \qquad \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\sigma}{E} = \frac{P}{A_x \cdot E}$$

Lógica matemática y derivado;  
ej. segmento de programa  
para derivar el modelo

$$\Delta L = \frac{P \cdot L}{A_x \cdot E}$$

Modelo Matemático

El modelo 4 es un modelo matemático para la descripción tecnológica del comportamiento de la barra. Su selección depende del nivel tecnológico disponible y conocimiento del modelador y la profundidad relevante considerada necesaria para cumplir los requerimientos del problema. Si cuatro parámetros cualquiera son conocidos, el quinto puede ser encontrado directamente desde el modelo.

El modelo expuesto puede ser usado para estudiar la respuesta de la barra para el modelo del proyecto del problema descrito más adelante.

**Modelo 5:** Modelo matemático de la interacción de los componentes del sistema.

$$\Delta L = \mathcal{U}'_B - \mathcal{U}'_A$$

$$\mathcal{U}'_A = 0$$

$$P = P'_B$$

$$P'_A = P'_B$$

El Modelo 5 define la estructura del sistema relacionando los parámetros componentes de la barra y los parámetros de los nodos. Ello requiere un esfuerzo creativo único sobre las partes del modelo, desde una formulación tecnológica específica para el problema, pero puede no existir.

**Modelo 6:** Modelo matemático de la respuesta del sistema

Del Modelo 4

$$\Delta L = \frac{P \cdot L}{A_x \cdot E} \qquad \text{donde } P'_B \text{ es la entrada del sistema}$$

Del Modelo 5:



$$\Delta L = U'_B \left[ \frac{L}{A_x \cdot E} \right] \quad \text{es el modo de respuesta del sistema}$$

$$P = P'_B \cdot U'_B \quad \text{es la respuesta del sistema y salida del sistema}$$

$$\therefore U'_B = \frac{P'_B \cdot L}{A_x \cdot E}$$

El Modelo 6 es un planteo indicando como el modelador entiende para "leer" el sistema. Está enfocado sobre la descripción del sistema y representa el proceso de solución para el modelo del sistema.

**Modelo 7:** Modelo matemático exponiendo las variables del proyecto  $A_x$  y  $E$ . El modelador puede ahora establecer un criterio de proyecto para verificar, ya sea, un particular proyecto, adecuado o no.

Desde que el criterio del proyecto está limitado por un lado solamente, el proyectista debe establecer su propio sistema de valor para  $A_x \cdot E$  desde la constante  $P'_B \cdot L / \Delta$ .

El modelo matemático total, para el problema del sistema de proyecto está resumido en la figura VII.2. Los siete modelos componentes descritos en varias formas pretenden concretar el propósito del modelo, objetivo del modelo matemático, del sistema de proyecto en investigación, condiciones y elección de las restricciones reales, y la predisposición y conocimiento tecnológico del modelador. Ello no es, por supuesto, el modelo del proyecto y la selección de los atributos específicos para los componentes del modelo.

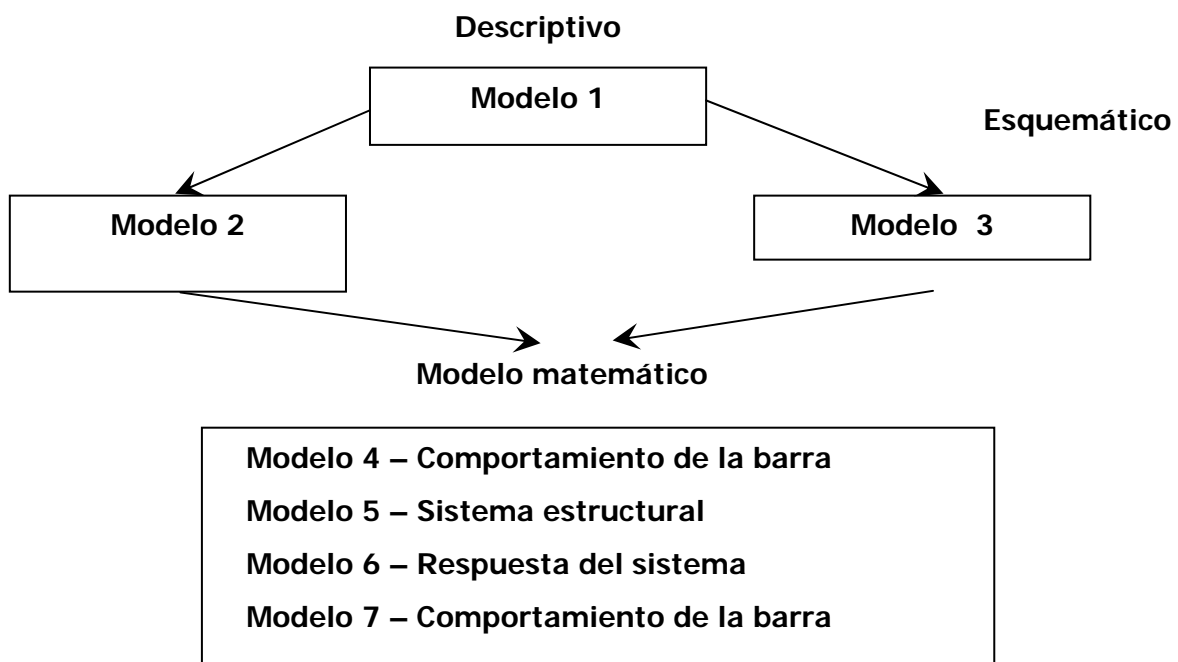


Fig. VII.2. MODELO MATEMÁTICO PARA EL PROBLEMA DEL SISTEMA DE PROYECTO

El modelo mismo puede ser verificado para su consistencia interna, para un nivel de exactitud relevante del mundo real del problema, con la identificación del problema, necesidades y recursos.

El modelo 1, por ejemplo, describe que la estructura debe ser una barra (no un reticulado o combinación de elementos estructurales), ésta es uniforme, recta y hecha de un material elástico liviano. La inclusión de todas (o una cualquiera) de estas descripciones limita severamente la elección de los proyectos potencialmente disponibles y juega un papel dominante en la forma específica de los modelos 2 a 7.

El requerimiento de un material liviano mantiene la suposición de un peso despreciable de la barra en el Modelo 4 y puede incidir en el criterio de solución del proyectista en el Modelo 7.

Similarmente una investigación puede ser dirigida con la necesidad para la imposición de restricciones tales como la rectitud y la uniformidad de la barra. Si la carga es aplicada dinámicamente o bruscamente, el Modelo 4 puede no ser exacto o adecuado, en cuyo caso, los Modelos 1, 4, 6 y 7 deben ser cambiados.

Supongamos que el costo de la estructura y el tiempo de construcción entren dentro de la consideración y afecten los propósitos del modelo. Los requerimientos de consistencia interna en el modelo demandan que el costo forme parte del Modelo 1, y una consideración de costo debe aparecer en uno de los modelos siguientes. La forma específica de su inclusión va a exponer el modelado y la racionalidad del modelador, el cual puede entonces ser examinado.

El desarrollo de la utilidad y validez de los modelos exige un buen nivel de capacidad creativa y comprensión de las fuerzas así como de las restricciones, y valorar el trabajo en el entorno en el cual el problema existe.

### 3) Modelo de mejoramiento de una red de carreteras

Para mejor ilustrar el uso de modelos matemáticos, consideremos el mejoramiento de una red de rutas usando la técnica de gráficos lineales. El planteo y descripción del problema está representada por la figura VII.3.

Siendo: (a, b, c, d)

a: Número de la ruta

b: kilometraje

c: capacidad de flujo de vehículos por hora(v.p.h)

d: Número de trochas

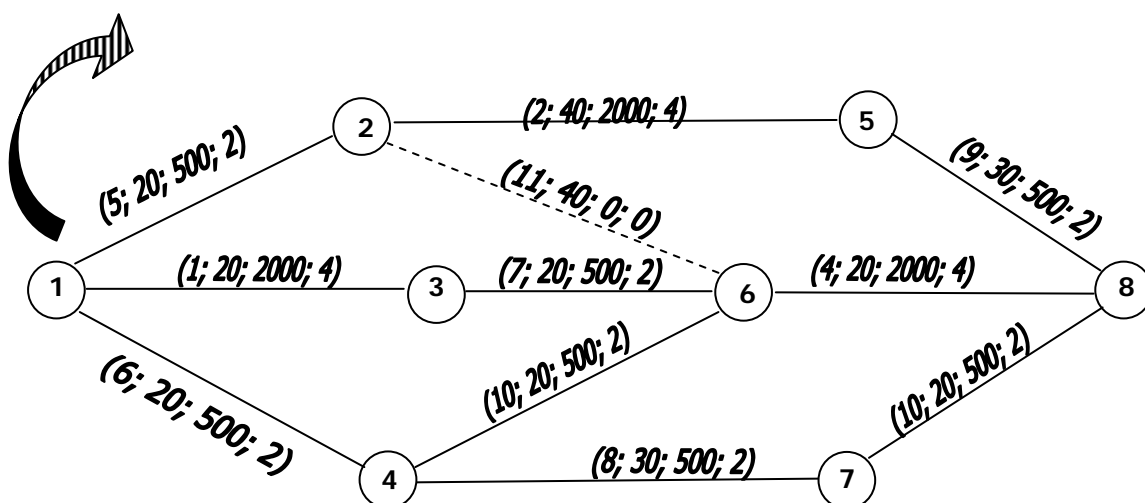


Fig. VII.3. GRAFICA LINEAL DE UNA RED DE RUTAS ENTRE A y B

El ingeniero vial puede proceder como sigue:

1º) Desarrollar un modelo matemático que va permitir determinar el flujo máximo de la red existente.

2º) Desarrollar un modelo matemático que permita saber cuales mejoras hacer en la red para que admita un flujo máximo de 6.000 v.p.h. y el costo de éstas mejoras.

3º) Si la partida de dinero disponible es menor que la suma requerida, desarrollar un modelo matemático que permita determinar que mejoras realizar para obtener el flujo máximo con el dinero disponible.

Desarrollaremos el primer modelo identificando primero las variables de decisión y entonces desarrollar las expresiones matemáticas, relacionando estas variables de acuerdo con el sistema de restricciones.

Modelo de capacidad de la red

El modelo de capacidad de la red es desarrollado para la capacidad del flujo corriente.

1) El flujo de tráfico desde A o B es independiente e igual al flujo de B a A.

2) La dirección del flujo de tráfico sobre una ruta específica es conocida, como se muestra en la figura.

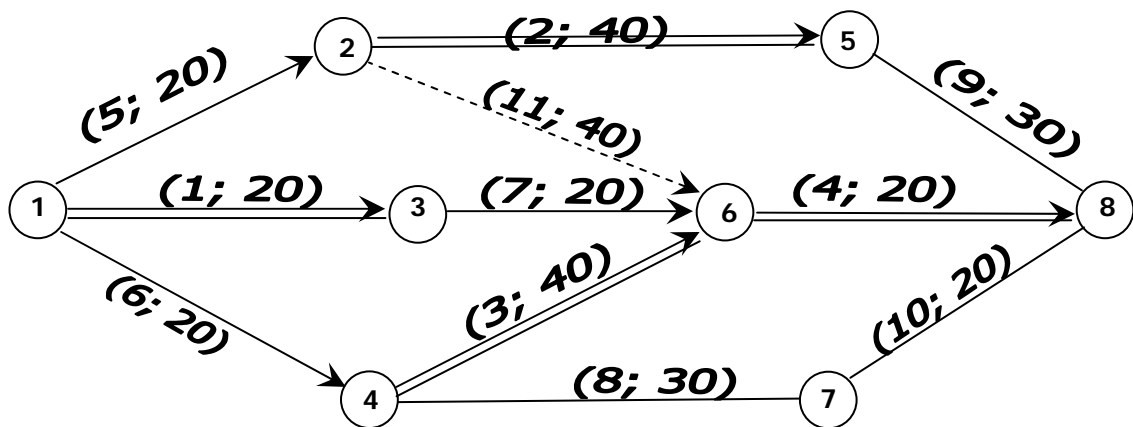


Fig. VII.4. GRÁFICA LINEAL PARA EL MODELO MATEMÁTICO

3) El flujo de tráfico originado o terminado en las localidades intermedias entre A y B es insignificante.

Hagamos:

$\phi_i$  = el flujo actual en la ruta  $i$ , ejemplo flujo de la rama

$C'_i$  = la capacidad de la ruta  $i$ , ej. capacidad de la rama

$\phi'_i$  = flujo impuesto al nodo  $i$ , ej. el flujo originado o terminado en el nodo  $i$ ;

$\phi'_i = 0$  para  $i = 2, 3, \dots, 7$  (por la suposición realizada en 3)

Así el flujo máximo puede ocurrir en la red cuando  $\phi'_i$  es un máximo. Los valores de

$\phi'_i$  están limitados por dos restricciones:

- 1) La capacidad de cada ruta no puede ser excedida
- 2) El flujo en cada nodo debe estar en equilibrio

Las restricciones en la capacidad sobre las rutas existentes pueden ser determinadas por la figura VII.4. Ellas son:

|                              |   |                  |   |   |
|------------------------------|---|------------------|---|---|
| <b>Para rutas existentes</b> | { | <b>4 trochas</b> | { | $0 \leq \phi_1 \leq 2000$<br>$0 \leq \phi_2 \leq 2000$<br>$0 \leq \phi_3 \leq 2000$<br>$0 \leq \phi_4 \leq 2000$  |
|                              | } | <b>2 trochas</b> | { | $0 \leq \phi_5 \leq 2000$<br>$0 \leq \phi_6 \leq 2000$<br>$0 \leq \phi_7 \leq 2000$<br>$0 \leq \phi_8 \leq 2000$<br>$0 \leq \phi_9 \leq 2000$<br>$0 \leq \phi_{10} \leq 2000$ |

En forma matricial

$$0 (10; 1) \leq \phi (10; 1) \leq C (10; 1)$$

Donde

$\phi$ : es la matriz columna del flujo de tráfico en la ruta

$C$ : es la matriz columna de la capacidad del flujo de tráfico y representa el comportamiento físico de los caudales componentes de la ruta.

La segunda restricción significa que el actual flujo de la ruta  $\phi$ , en los nodos debe estar balanceado en la unión de rutas a causa de los requerimientos de continuidad.

Si el flujo dentro de un nodo es considerado positivo, así la fuente A, nodo 1, la ecuación de continuidad debe relacionar el flujo nodal de la malla,  $\phi'_1$  con los flujos de las rutas,  $\phi_1$ ,  $\phi_5$ , y  $\phi_6$  y siendo conocida la dirección del tráfico, se tiene:

$$\phi'_1 - \phi_1 - \phi_5 - \phi_6 = 0$$

$$\phi_1 + \phi_5 + \phi_6 = \phi'_1$$





## B) SIMULACIÓN

### 1) CONCEPTOS

En los proyectos la simulación es el proceso de experimentación que se realiza sobre un modelo que representa un sistema real, para estudiarlo o diseñarlo, determinando el comportamiento que tendrá el sistema real frente a ciertas condiciones externas.

La simulación se basa en la experimentación, estudio y ensayos de sistemas reales o imaginarios representados por un modelo. Tiene por objeto presentar las diversas respuestas de un sistema y no resuelve problemas encontrando las soluciones posibles sino que mediante los resultados que se obtienen y analizando los mismos, ayuda a tomar las mejores decisiones que sean factibles.

La razón de ser de la simulación es predecir, comparar y no decidir, permitiendo conocer lo esencial del sistema y su comportamiento.

### 2) OBJETIVOS

Los propósitos en los que se emplea esta técnica son:

#### a) Análisis de sistemas

Esta aplicación es utilizada en proyectos y consiste en la observación de como obtenido el modelo y determinadas las variables que afectan al sistema, haciendo incidir las variables de entrada, estas son transformadas para producir las salidas que permiten estudiar el comportamiento del sistema.

El modelo del sistema está determinado y el objetivo es determinar la respuesta del sistema cuando el conjunto de variables de entrada permite tomar diferentes decisiones.

La exactitud con que se ha confeccionado el modelo da el grado de validez de las respuestas.

#### b) Construcción de sistemas

En los proyectos este es el objetivo principal y requiere que el conocimiento del sistema sea lo bastante completo para poder construirlo o diseñarlo.

En este caso se actúa sobre los parámetros o variables internas hasta obtener el comportamiento deseado.

Se utiliza cuando se estudian sistemas donde el propósito es proyectar, corregir y optimizar.

#### c) Instrucción, enseñanza y entrenamiento

Esta aplicación comprende a la vez, entrenamiento y enseñanza. Un ejemplo conocido son los simuladores de vuelo para el personal de aeronavegación.

En este caso el modelo es enteramente similar a la cabina de un avión real, con igual disposición y tipo de equipamiento. El piloto realiza operaciones usuales de navegación señaladas por un controlador, y una computadora, cuyo rol es integrar de una forma continua las ecuaciones matemáticas de vuelo, va determinando la exactitud con que fueron efectuadas las maniobras.

### 3) MODELOS EMPLEADOS PARA LA SIMULACIÓN

Los modelos de simulación pueden tomar muchas formas y ser de diferentes niveles de complejidad. Un buen modelo debería representar las características del sistema de tal manera que el problema bajo su consideración pueda ser resuelto.



Por el tipo de modelos se los puede agrupar de modo general en:

- 1-Simulación iconográfica o geométrica
- 2-Simulación analógica
- 3-Simulación analítica o matemática

### 3.1.-Simulación iconográfica

Son réplicas simplificadas de un sistema real en escala reducida o natural que permiten predecir el comportamiento que tendrá dicho sistema bajo las condiciones reales a las que estará sometido.

Este tipo de modelos es común en ingeniería y un ejemplo de ello lo tenemos en nuestra Facultad con el túnel de viento del Instituto de Estabilidad, en donde se ensayan modelos de estructuras proyectadas a escala reducida, para determinar las sollicitaciones que tendrá la estructura real bajo la acción del viento.

En el caso citado, y por el tipo de acción considerada la modelización no es solo de la estructura proyectada sino también del entorno, atendiendo a la influencia del mismo en el flujo del viento sobre el elemento en estudio.

A veces no basta la prueba del modelo para obtener, aplicando la teoría de modelos, todos los datos que se quieren conocer sobre el sistema real, y en lugar de un modelo reducido de todo el sistema, se construye en tamaño natural y se ensaya algún elemento del sistema total, para conocer su comportamiento.

La determinación de la causa de falla que presentaban los aviones a reacción de pasajeros Comet IV fue determinada en un ensayo sobre un modelo real, sumergiendo el prototipo en una inmensa piscina en la que se hacía variar las condiciones de presión en forma continua efectuando, gran número de ciclos para semejar tiempos de vuelo acumulados.

Se pudo comprobar que la falla se originaba por fatiga de un elemento luego ,'' de muchos miles de horas de vuelo simuladas.

Los modelos iconográficos son particularmente importantes para estudiar sistemas en los cuales la relación entre los componentes no es bien entendida o en aquellos que son demasiados complejos para ser modelados matemáticamente.

En estos casos, el ensayo permitirá no solo conocer el comportamiento del sistema sino también mejorar el modelo matemático.

### 3.2. Simulación analógica

En este caso el modelo no tendrá ningún parecido físico con el sistema real, pero si en cuanto a su comportamiento.

Un ejemplo de simulación analógica empleado para proyectar un sistema de control de tránsito consiste en un dispositivo electrónico en el que los circuitos eléctricos representan las vías de tránsito urbano, mientras que impulsos, o pulsos eléctricos representan los vehículos. Con tal simulador, el ingeniero experimenta diferentes sistemas de control de tránsito.

En muchos problemas de ingeniería se hace imposible construir una réplica física del sistema real. Por ejemplo, para estudiar la respuesta de estructuras de ingeniería a diferentes intensidades de terremotos no es posible construir un pequeño modelo de la zona del sismo usando rocas y suelos y generar esas acciones en el mundo del experimentador.

Sin embargo, si la propiedad dinámica de la onda del terremoto se conoce, se puede construir un elemento para generar un tipo similar de efecto.



Un sistema electrohidráulico para simular terremotos está basado en una mesa cuadrada de 3,65m (12 pies) manejada por un pistón hidráulico y diseñada para recibir una fuerza de 5,4tn (1.000 libras) en dirección horizontal que origina una oscilación al azar. La respuesta del modelo de la estructura vinculada a la mesa nos permite conocer el comportamiento que presenta frente a la acción sísmica.

### 3.3. Simulación analítica

En problemas en los cuales la característica de los componentes del sistema y su estructura pueden ser definidos matemáticamente, un modelo analítico constituye una herramienta poderosa.

Básicamente el modelo consiste en un conjunto de variables de diseño y un conjunto de constantes del sistema. Algunas de las variables de diseño son parámetros independientes, los valores de las cuales se especifican como entrada del proceso de simulación. Las variables restantes son variables dependientes que se usan para medir el desempeño del sistema y la respuesta del mismo. La simulación se efectúa en general en una computadora digital y para ello el modelo debe ser asimilable por el equipo, por lo que debe ser escrito en un lenguaje que lo admita, al igual que el procedimiento que deberá seguir la computadora para ejecutar la simulación.

El control de los niveles de polución del aire resulta un ejemplo clásico de aplicación de este tipo de simulación ya que si bien se han desarrollado sensores electrónicos para medir dichos niveles, una muestra de la red de los mismos en una ciudad es ampliamente dispersa y no suficientemente densa para identificar todas las áreas con problemas. Además el sistema de monitoreo con sensores no puede predecir los efectos de nuevas fuentes de polución, como los proyectos de plantas industriales o autopistas que incidirán sobre toda la población.

El modelo puede consistir en funciones matemáticas que relacionen factores del sistema, como la tasa de variación de la polución, condiciones climáticas; topografía de la localidad en estudio y la distribución de los distritos comerciales, industriales y residenciales. Una vez que ha sido identificado el origen más importante de la polución, este tipo de modelo puede usarse para la determinación del nivel de polución en cualquier sector de la ciudad durante distintas horas del día y bajo diferentes condiciones climáticas. Los resultados de la simulación pueden darse en forma gráfica mediante un mapa que señale las áreas y los niveles previstos.

Además, una vez que el modelo está realizado, puede ser usado para el estudio de la efectividad de diversos métodos de control así como también para analizar los efectos adversos de nuevas fuentes de polución.

#### 4) PROCESO DE SIMULACIÓN

La simulación es el proceso de conducir experimentos o ensayos con un modelo del sistema que está en estudio o proyecto y dijimos que puede ser empleada tanto para análisis del sistema como para su construcción u optimización.

El modelo para el primer caso es generalmente fijo y se ensaya con diferentes valores de los parámetros que constituyen las variables independientes. El proceso de simulación es básicamente iterativo y puede ser descrito como un estudio de entrada-salida con realimentación, introduciendo cambios en los parámetros de entrada toda vez que se obtiene un resultado satisfactorio de los parámetros de salida.

Esto se esquematiza en la figura VII.5. La entrada define las condiciones a las que estará sujeto el sistema real y la salida predice la respuesta o comportamiento.



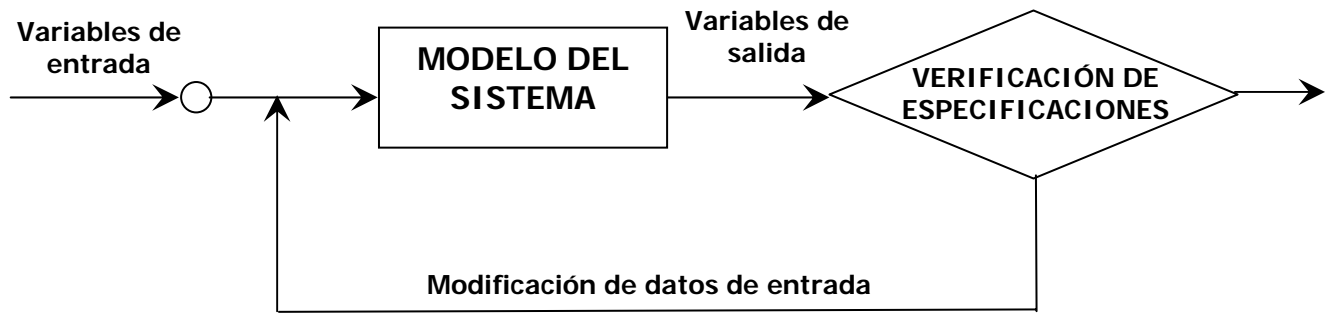


Fig. VII.5. Simulación en un proceso de verificación del modelo

Estudiando las salidas al final de cada ensayo, el proyectista aprende cada vez más respecto al sistema real y puede usar los nuevos conocimientos para definir nuevas condiciones de entrada, hasta una total verificación del modelo.

En la aplicación de construcción u optimización proyectista está interesado en determinar cuales de los componentes del sistema que está diseñando puede mejorarse, para que el sistema real pueda cumplir de manera más adecuada con los objetivos y las restricciones impuestas.

El modelo es para este caso variable y los parámetros de entrada son fijados por las condiciones de diseño: especificaciones y restricciones.

La figura VII.6. proporciona el esquema del proceso que es iterativo

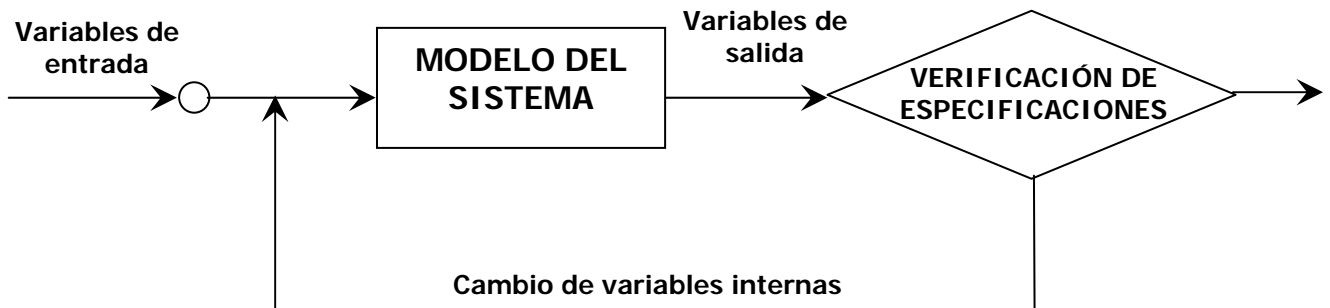


Fig. VII.6. Simulación en un proceso de optimización del modelo

En este caso las salidas del modelo son empleadas para decidir cual elemento del sistema debe ser modificado a fin de mejorar el desempeño del mismo.

Consideremos como ejemplo el problema de verificar el comportamiento de un puente metálico sobre un río. El modelo de simulación puede ser matemático, formado por un sistema de ecuaciones que relacionan la interacción de los esfuerzos de sus elementos componentes, la estructura geométrica, las medidas y las tensiones admisibles del material.

Las variables de entrada pueden incluir condiciones de carga, velocidad y dirección del viento, velocidad del agua en el cauce actuando sobre los pilares y ocurrencia de terremotos.

Para cada grupo de parámetros de entrada, el modelo permite determinar los esfuerzos en cada uno de los elementos componentes y la deflexión de la estructura, lo cual proporciona una medida directa del desempeño del sistema bajo las condiciones dadas.

El utilizar el modelo del sistema como auxiliar para mejorar el diseño, lo convierte en



una variable y el proyectista debe lograr una óptima selección de los componentes del sistema en conjunto, por cuanto ellos, afecta la resistencia de la estructura, su peso, así como también su costo.

Si el diseño falla en alcanzar el comportamiento normal para un grupo de parámetros de entrada, los elementos que han sobrepasado su límite admisible (por resistencia o deflexión) deben ser cambiados y la simulación se repetirá hasta lograr que con cualquier grupo de parámetros de entrada, dentro de las especificaciones, se alcance un comportamiento aceptable.

Una de las mayores ventajas del empleo de la simulación es que luego de obtenido el modelo, se lo puede utilizar tanto para mejorar el diseño como para verificación, y permite probar su comportamiento bajo diversas acciones del medio sobre el sistema.

En síntesis, podemos resumir el proceso de simulación estudiado de la siguiente forma:

#### 1-Definición del problema

Se deben identificar claramente los parámetros de entrada, los componentes del sistema, sus interrelaciones y las posibles alternativas de diseño del sistema a ser investigado.

2-Establecimiento del grupo de parámetros de entrada El propósito de este paso es generar datos de entrada representativos de los estados reales en el proceso de simulación.

Pueden ser datos numéricos, pasos lógicos o funciones matemáticas, obtenidos habitualmente de un conjunto de datos de prueba (o muestra), tomados del sistema real.

#### 3-Construcción del modelo

Debe representar el sistema real y su entorno, pudiendo utilizarse cualquier tipo de modelo, dependiendo su concreción de la posibilidad de realización, de la exactitud y de las características a determinar o verificar.

4-Proceso de simulación propiamente dicho Habíamos analizado que el proceso puede ser de verificación o de diseño, pudiéndose combinar ambos.

En algunos problemas de simulación es necesario estudiar la respuesta del sistema usando diferentes estructuras del mismo y para ello resulta necesario construir modelos de sistemas separados, para poder representar cada uno de los diferentes diseños.

#### 5-Análisis de los resultados

La simulación no es en si un proceso de optimización ni tampoco de toma de decisiones y su objetivo es el proveer el conocimiento de la respuesta del sistema bajo un conjunto de condiciones especificadas.

Los resultados deben ser cuidadosamente analizados a fin de:

- a) establecer modificaciones en su diseño para optimizarlo
- b) verificar si cumple con todas las especificaciones, resultando admisible su comportamiento.

## 5) LIMITACIONES DE LA SIMULACIÓN

La simulación mediante uso de modelos es una herramienta que posibilita analizar sistemas simples o complejos que pueden ser fácilmente estudiados de alguna otra manera.

La exactitud y la confiabilidad de los resultados de la simulación dependen en gran manera de lo bien que el modelo puede representar las respuestas características del sistema en el mundo real.

Por otra parte, la validez de los modelos y la confiabilidad de los resultados son difíciles de evaluar por la complejidad de los sistemas reales y por ello es aconsejable que los resultados de la simulación sean analizados con un cierto grado de reserva ya que todos los modelos son imperfectos y en la simulación presentarán respuestas con discrepancias con respecto a las obtenidas en el sistema real.

Debido a las limitaciones precedentes, la simulación efectuada con un modelo que

represente un sistema que se proyecta realizar deberá, siempre que sea posible, corroborarse con estudios teóricos del sistema. Ambos resultados servirán para una verificación mutua.

Además, un simple análisis teórico puede ayudar a reducir la complejidad del modelo y los cálculos o ensayos de simulación.

En los casos en que el proyecto se concrete, será siempre conveniente, monitorear las respuestas en el sistema real construido, para compararlas con las obtenidas en la simulación y de esa forma ganar en experiencia, emplear hipótesis simplificadoras y optimizar el modelo.

### C- MODELOS PREDICTIVOS

Estos modelos nos permiten prever el comportamiento de un sistema sometido a ciertas acciones en base al registro de informaciones obtenido para dicho sistema en el mundo real.

#### 1) Desarrollo de modelos predictivos

El siguiente procedimiento general para el desarrollo de un modelo predictivo es de gran importancia en la ingeniería. Se resume en la figura VII.7.

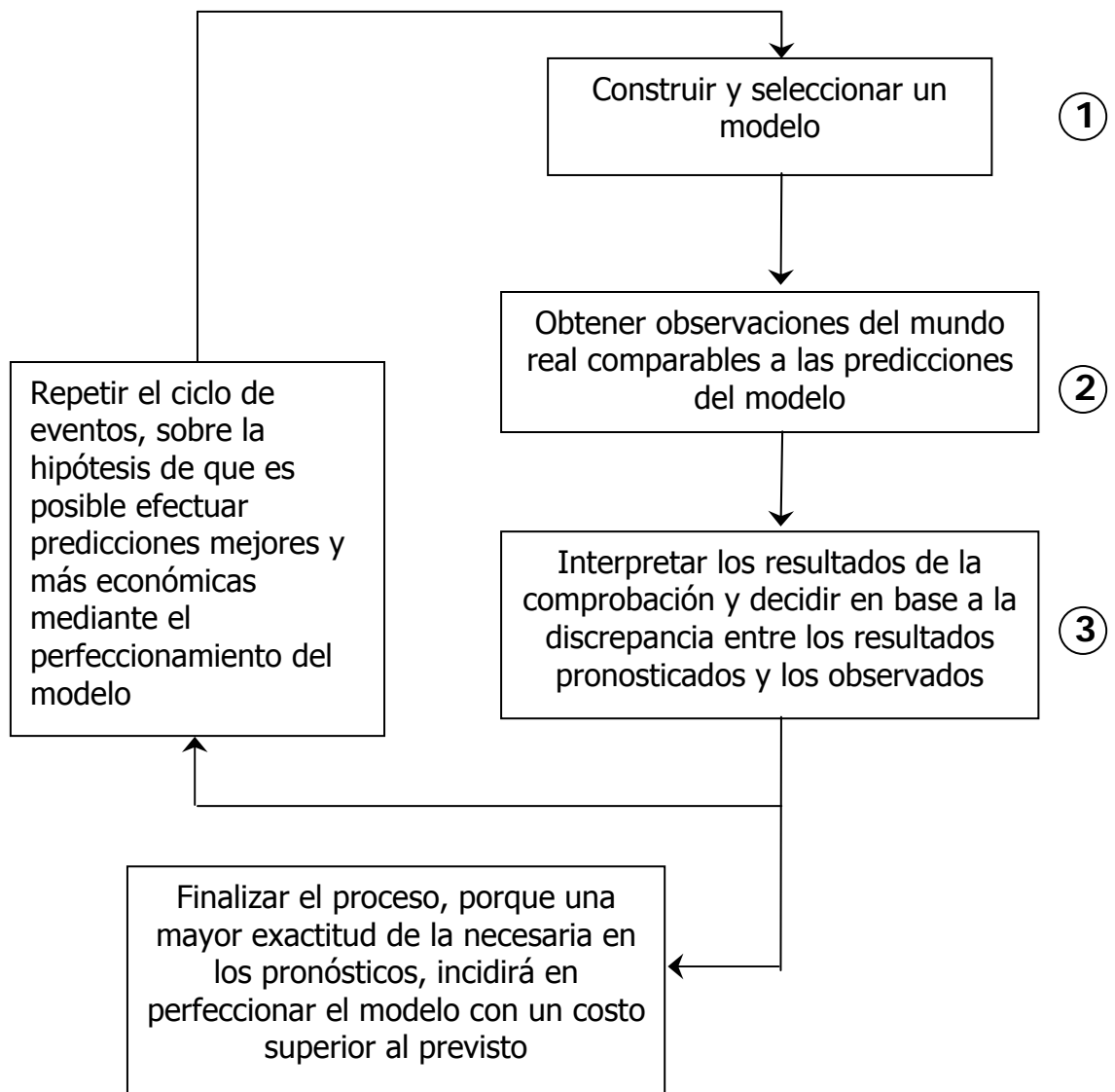


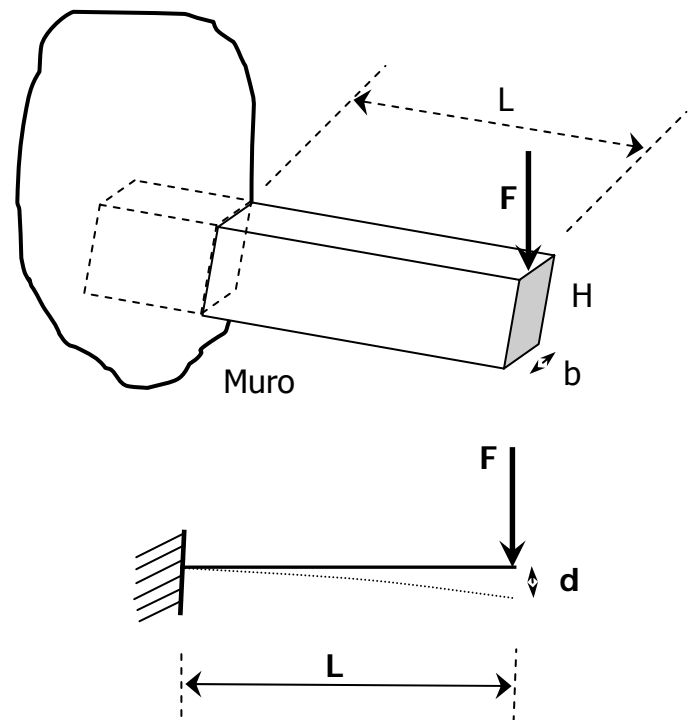
Fig. VII.7. MODELO ESQUEMATICO PARA EL DESARROLLO DE MODELOS PREDICTIVOS

Analicemos que para el problema a tratar resulte necesario un modelo potencialmente satisfactorio para el trabajo de predicción emprendido. Puede ser un modelo preparado especialmente para dicha tarea o bien uno seleccionado de una variedad de modelos "ya hechos", como el del siguiente ejemplo.

1) Un ingeniero ha seleccionado un modelo en un libro, considerando que permitirá predecir satisfactoriamente la deflexión o flecha ( $d$ ) de ciertas vigas que ha especificado para las estructuras (FIG. VII.8.).

Veamos algunas hipótesis que se relacionan con el modelo.

- La carga  $F$  se aplica en un solo Punto
- El material de que está hecho la viga es homogéneo.
- La carga  $F$  se aplica gradualmente y no con choque o impacto.
- La viga se mantiene perfectamente rígida en su extremo fijo.
- El peso de la viga es despreciable



$$\Delta L = U'_B - U'_A$$

Fig. VII.8. MODELO DE LA VIGA EN MÉNSULA

Es obvio por estas hipótesis que hay un cierto número de discrepancias entre el modelo y la situación real. Las discrepancias son causa de consideraciones; el ingeniero desea saber la exactitud de las predicciones de este modelo y lo que espera teniendo en cuenta las aplicaciones que prevé. Antes que utilice el modelo en su trabajo, deberá evaluar sus predicciones.

2) Por lo tanto, el siguiente paso será obtener algunas observaciones del mundo real con las que pueda comparar las predicciones.

En este ejemplo las observaciones de lo que realmente ocurre son obtenidos de experimentos de laboratorios. Para ello se aplican cargas con diferentes valores de  $L$ ,  $E$ ,  $b$  y  $H$ ; y se miden flechas resultantes en las vigas.

Luego, utilizando los mismos valores de  $L$ ,  $E$ ,  $b$  y  $H$  se calculan las flechas en el modelo. Así pues, para conjunto de condiciones que es ensayado se tiene una flecha

pronosticada y una observada, y pueden representarse en una gráfica los resultados previstos y los medidos. Cuanto mayor sea la dispersión de los puntos situados en una gráfica como la de la figura VII.9., es decir cuanto más débil sea la correlación entre los valores pronosticados y los observados, menor será la capacidad predictiva del modelo.

3) El ingeniero debe interpretar estos resultados y tomar una decisión. Tiene dos alternativas principales:

a- Aceptar el modelo como está y utilizarlo.

b- Repetir este proceso de tres etapas, comenzando con un intento de perfeccionar el modelo matemático propuesto o empezar con un modelo matemático o de otra clase.

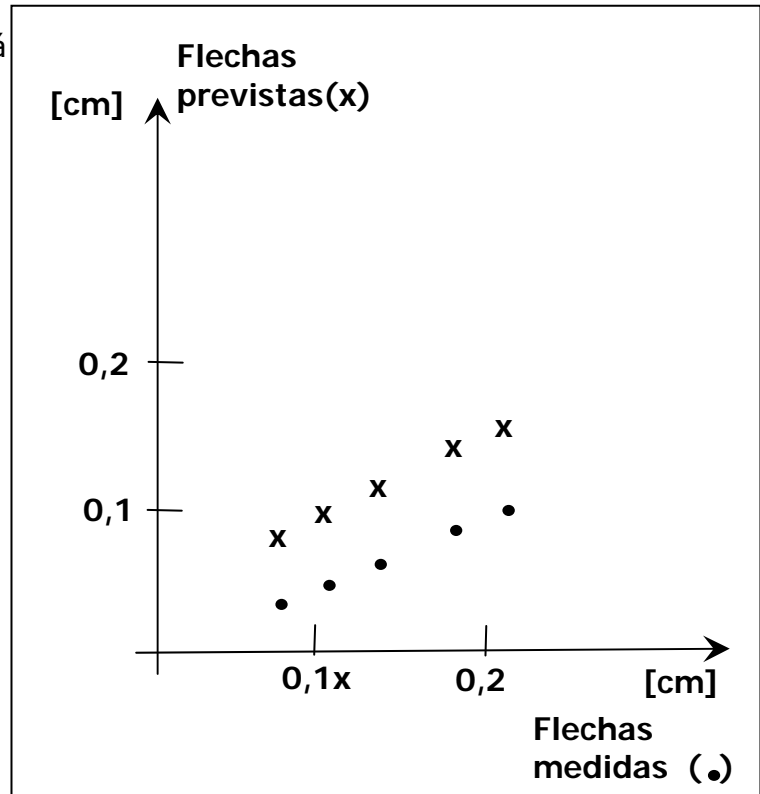


Fig. VII.9.

Esta decisión depende prioritariamente de la situación para la que se va a utilizar las predicciones.

Cuando los costos de los errores son muy elevados, especialmente cuando están en peligro la viga y la integridad de ser humanos, las predicciones tienen que ser bastante exactas y precisas. En otras situaciones pueden aceptarse predicciones razonablemente menos exactas.

En consecuencia, lo adecuado de un modelo no puede ser evaluado independientemente de la aplicación particular que se le dará. Por lo tanto, no debe intentarse juzgar la magnitud de la dispersión de la gráfica de la figura VII.9., a menos que se tenga información concreta acerca de la manera en que se utilizarán las predicciones.

No debe esperarse una perfecta capacidad predictiva que haga que las flechas medidas y las previstas estén sobre una recta, lo cual sería hipotética por varias razones.

Siempre que se aplica un modelo hay un cierto error en la medición de los valores empleados en el mismo (F, E, etc) y aún en las mediciones de los descensos.

A medida que más tiempo se gasta en el intento de perfeccionar un modelo, su costo de desarrollo continúa aumentando y dichos costos son de interés para el ingeniero que está presionado para mantenerlos bajos y producir resultados tan pronto como sea posible, por lo que no deberá invertir en el objetivo de mejorar el modelo más allá del tiempo previsto.

Lo expresado anteriormente corresponde a la optimización de los métodos de

resolución de problemas, que analizaremos en el próximo capítulo.

### **Simplificación de modelos**

El modelo, como se ha visto, sirve ya sea para el conocimiento del sistema como para la predicción de su comportamiento.

Para lograr esto plenamente, se han desarrollado, a veces, modelos formados por miles de ecuaciones.

Si la aplicación de modelos reducidos presenta en algunos casos serias dificultades, se comprende como se multiplicarán estas en modelos complicados, razón por lo cual deben evitarse en lo posible.

Los modelos extensos surgen a veces por la tendencia de incorporarles la mayor cantidad de componentes del sistema.

Cuando se sigue esa tendencia, puede ocurrir que el modelo sea más complicado para entender, que el sistema mismo.

Cuánto más extenso sea el modelo, mayor será el número de soluciones a analizar, lo que significa un tiempo difícil de disponer en ingeniería de proyectos. Esta es una de las principales razones para la simplificación.

Otra razón para efectuar simplificaciones es que en grandes modelos se presenta el riesgo de no reconocer alguna de las variables importantes, que tienen una influencia determinante sobre el comportamiento del modelo, considerándose en cambio otras que no inciden en forma significativa.

La tarea de simplificar un sistema para crear un modelo requiere un conocimiento profundo del sistema, de la importancia de sus variables y experiencia del proyectista para la correcta elección de las hipótesis simplificadoras.

En el modelo se deben incluir todas las variables fundamentales porque de ello dependerá la validez de los resultados obtenidos, con respecto a la realidad.

Las simplificaciones pueden ser efectuadas cuando el error introducido por la simplificación es despreciable, por la poca influencia en el resultado final.

Estas simplificaciones facilitan la construcción del modelo, el análisis de los resultados e influyen favorablemente en la economía, sin que los resultados obtenidos presenten errores superiores a los admisibles en ingeniería.

La simplificación de un sistema que se modela, puede ser hecha, por eliminación o por concentración.

Se eliminan algunos componentes variables cuando se supone que su incidencia no aporta modificaciones apreciables en el comportamiento del modelo. Pueden eliminarse o ser reemplazados por una constante, según resulte más conveniente.

Se concentran las variables, cuando pueden agruparse varias de ellas en una sola, o bien puede suponerse variación lineal de una función, aun cuando en realidad esto no se produzca, pero la suposición no altera apreciablemente el resultado en el rango de aplicación.

Son necesarias numerosas hipótesis simplificadoras cuando se modela un sistema complejo. Para manejar acertadamente esta hipótesis, es necesario conocer con precisión el objetivo que se persigue con el modelo, ya que esa premisa condicionará las simplificaciones admisibles y la mayor o menor complejidad del modelo.

Para ser simple, un modelo no debe ser concebido para explicar el comportamiento de un sistema en todos sus detalles sino en aquellos que realmente interesan.

En general no debe pretenderse explicar con un solo modelo el comportamiento completo del sistema. Es aconsejable utilizar modelos parciales. Así por ejemplo, en un sistema estructural, se hallará un modelo para determinar sus deformaciones elásticas y otro para determinar su resistencia. Esto no significa que después no puedan cambiarse en un mismo programa de computación.



### **Confiabilidad del modelo**

La mejor manera de saber si un modelo es confiable consiste en verificar si las condiciones del modelo coinciden con las observaciones pasadas o presentes del sistema, en el aspecto de la aplicación que interesa. En resumen, la única forma de verificar con rigurosidad un modelo, es probarlo y compararlo con el sistema real que pretende representar.

Es necesario considerar que el modelo es un esquema, trata de imitar al mundo real en forma simplificada; sus resultados no tendrán valor si no son confirmados por la respuesta del sistema real.

En problemas complejos, donde no es posible establecer la función transferencia de modo que pueda dar una respuesta que coincida con la del sistema real, podrá bastar con la indicación de una tendencia. Esto permitirá ir conociendo las características del sistema e ir perfeccionando el modelo.

## CAPITULO VIII- OPTIMIZACIÓN

### 1- El proceso de optimización

En la mayoría de los procesos de ingeniería, existen muchas soluciones factibles. Es responsabilidad profesional del ingeniero lograr la mejor solución posible de acuerdo a las metas y objetivos para el total del sistema. El proceso por el cual es determinada la solución más adecuada, de acuerdo con cierto criterio, para el mejor funcionamiento posible de un sistema se denomina "optimización".

La optimización es una fase esencial y necesaria para el proceso de proyecto y planificación. Después que el problema del entorno se encuentra definido y ha sido encontrada alguna solución inicial, los modelos para el sistema se desarrollan para describir las características del proyecto y las interacciones de los requerimientos del sistema. Estos modelos, como hemos visto, pueden ser gráficos, matemáticos o físicos y proveen un medio para analizar el comportamiento y la respuesta del proyecto cuando es expuesta a un gran número de condiciones del entorno.

Atendiendo al resultado de la comprensión generada por el análisis expuesto, se pueden hacer modificaciones al proyecto o resultar necesario uno completamente nuevo. Este proceso cíclico de proyecto y análisis se reitera hasta que un conjunto del mayor número de soluciones satisfactorias surgen a los problemas del sistema, debiendo estas soluciones ser evaluadas y categorizadas de acuerdo a como ellas satisfacen los objetivos y metas que se han establecido para el sistema propuesto.

En la etapa de clasificación y evaluación, pueden generarse nuevas posibilidades de solución, pero también otras posibles restricciones del sistema. En esos casos es necesario retornar nuevamente al ciclo de proyecto y análisis.

El proceso de optimización es un proceso cíclico que consiste en un continuo interjuego de proyecto, análisis y clasificación de soluciones alternativas, tal como lo indica la figura V.9. (esquema en los pasos a seguir en la solución de problemas).

Diversos métodos y procedimientos han sido desarrollados para ayudar al que tiene que adoptar las decisiones en su búsqueda de la óptima solución, como los de gráficas lineales y modelado matemático, ya vistos que permiten describir las interacciones de los componentes del sistema y aportan un medio para el estudio de las características de entrada y proceso del sistema.

### 2- Motivación y libertad de elección

La optimización para ser posible debe contar con el deseo de proyectista de lograr la mejor solución, motivada por la necesidad de emplear eficientemente los materiales y los recursos para el desarrollo de la calidad de vida. El grado de éxito en la optimización es con frecuencia dirigido por el anhelo del proyectista de alcanzar una óptima solución.

La optimización es posible realizar si existe libertad de elección, es decir diferente alternativas de solución, Si el enunciado del problema es limitante de manera tal que resulta factible solo una solución al problema, no se puede efectuar.

Al disminuir el número de restricciones la cantidad de soluciones aumenta y la tarea de optimización correspondiente se torna más compleja. En consecuencia, es importante durante la fase de definición del problema que las limitaciones impuestas del sistema sean representativas, atendiendo a las metas y los objetivos para solucionar el problema. Las





innecesarias restricciones, pueden descalificar una óptima solución por una consideración lejana al sistema.

### **3- Metas, objetivos y criterio**

El propósito del proceso de optimización es determinar el sistema que permita al que toma la decisión lograr alcanzar la mayor proximidad a las metas y objetivos fijados. La cuantía o rango con el cual alcanza estas metas y objetivos debe medirse por un conjunto de criterios específicos que deben estar expuestos con precisión y claridad durante la definición del problema.

Las metas deben verdaderamente reflejar el propósito esencial de aquellos quienes tienen un interés válido directo o indirecto en el problema. A los efectos de precisar lo expuesto consideremos el problema del proyecto de un edificio en altura (EA) analizado en el Capítulo V.

Las partes interesadas en el problema son muchas, pero las más importantes son el propietario, los inquilinos y el sector público, que está representado por el municipio. La principal meta del propietario puede ser obtener una ganancia suficientemente grande que justifique el riesgo empresario.

Los inquilinos o propietarios de departamentos en el EA pueden estar interesados en contar con una vivienda cómoda, gran superficie en el sector de living, etc., o de tratarse de negocios acceder a un emprendimiento comercial por un costo razonable.

La administración de la ciudad puede tener como meta desarrollar el bienestar económico y social de la misma y de sus habitantes.

Estos fines no son mutuamente independientes. Los inquilinos pueden o no haber sido ya identificados durante el proyecto del EA, pero está claro que la meta del propietario para ser alcanzada debe tomar en consideración los intereses de los presuntos inquilinos. En forma similar, el bienestar de la ciudad afecta fuertemente la vida de los inquilinos y en consecuencia, el futuro de los edificios elevados.

Los objetivos del problema especifican cuáles características del sistema deben ser optimizadas para alcanzar las metas. Los objetivos están comúnmente asociados a factores tales como: costo, ganancia, impuestos, tiempo de construcción, criterios estéticos, modelos, formas y eficiencia. Para alcanzar las metas de los propietarios de obtener una gran ganancia, algunos de los objetivos son:

- 1- Minimizar el capital invertido, el mantenimiento y el costo operativo
- 2- Maximizar la renta total obtenida por alquileres en el EA

Para las metas de los inquilinos, los objetivos pueden ser:

- 1- Minimizar las comodidades y equipamientos de la unidad de vivienda y en caso de negocios que sea un atractivo centro comercial con alquileres razonables.
- 2- Maximizar la seguridad del edificio
- 3- Maximizar la conveniencia de entrar y pasar por el edificio (para locales comerciales)

Para el municipio, los objetivos pueden ser maximizar los ingresos económicos de la ciudad mientras que minimiza los gravámenes financieros y operacionales para los ocupantes del EA.

Nuevamente, estas metas no son mutuamente excluyentes, pero pueden ser



conflictivas unas con otras, y a veces complementarias.

Finalmente, el criterio es el conjunto de parámetros usados para medir cuán óptima es la solución con respecto a las metas y los objetivos. Para los objetivos de los propietarios de minimizar los costos, el criterio puede expresarse en términos del capital invertido en dinero, las tasas de intereses por empréstitos, tasa de inflación, impuestos municipales, costo operacional y de mantenimiento.

Para maximizar los ingresos el valor del alquiler en dinero, el valor de la toma de posesión en locales comerciales (valor "llave") y la vida útil del EA.

Posibles criterios para otros objetivos en el ejemplo del EA están en la lista en la Tabla VIII.1.

La descripción de las metas, objetivos y criterios, como se muestra en a Tabla VIII.1., constituyen el primer paso necesario para alcanzar un óptimo proyecto.

En cualquier problema de ingeniería, ya sea simple o complejo, puede ser muy difícil identificar y expresar todas las metas relevantes, objetivos y criterios, desde la iniciación misma del proceso de proyecto. De cualquier manera, cuando el problema está siendo estudiado y se desarrollan proyectos alternativos, una nueva comprensión puede dar origen a otros criterios y objetivos e incluso a nuevas metas.

| <b>METAS</b>                               | <b>OBJETIVOS</b>   | <b>CRITERIOS</b>  |
|--|--|---|
| 1) Maximizar las ganancias de la inversión | 1- Minimizar costos  | Inversión del capital, costo operacional, costo de mantenimiento, intereses de financiación, gravámenes municipales.  |
| 2) Máxima satisfacción de los inquilinos   | 2- Maximizar ingresos  | Renta por alquiler, vida útil del EA.   |
|  | 3- Maximizar la seguridad  | El factor de seguridad estructural contra riesgos de la naturaleza (viento, sismo, etc.), riesgos de incendio, reglamentos de la ciudad para los EA; procedimientos de emergencia.                  |
| 4) Contribución al bienestar de la ciudad  | 4- Comodidades para las unidades de departamentos y/o centro comercial para los inquilinos de negocios | Necesidades funcionales: amplio sector de estar, facilidades para compras y recreación, seguridad personal, ruido, proximidades al trabajo, escuelas, parques, etc.                                 |
|  | 5- Atractivo arquitectónico del EA   | Para los locales comerciales: afluencia de personas en ese sector de la ciudad. Concordancia con edificios de los alrededores y del entorno; acierto en el diseño desde el punto de vista estético. |
|  | 6- Maximizar los ingresos de la ciudad   | Creación de nuevas industrias y empleos, mejoramiento ambiental urbano.   |
|  | 7- Minimizar la incidencia del incremento de servicios por el EA                                       | Aumento de la demanda de agua, electricidad, etc; incremento sobre el vecindario del tráfico, impacto sobre escuelas cercanas al EA, etc.   |

Fig. VIII.1. DESCRIPCIÓN DE METAS, OBJETIVOS Y CRITERIOS PARA EL PROYECTO DE UN EA

Además, dado que las metas, objetivos y criterios inevitablemente son conflictivos, el ingeniero que proyecta siempre debe categorizar cuidadosamente la importancia relativa de los mismos, con el propósito de establecer un equilibrio justo mediante "transacciones", en el proceso de optimización.

Analicemos algunos ejemplos simples referidos al estudio de la transacción en la toma de decisiones.

a) Si como meta de diseño se busca que un proyectil autopropulsado balístico (misil), sea más destructivo, la solución para ello sería aumentar el tamaño de la bomba o carga explosiva que lleva. Pero tal aumento añade peso y el cohete ya lleva su máxima carga Útil, de modo que para compensar la mayor carga de explosivos se tendría que sacrificar el alcance del proyectil (reduciendo su carga de combustible), o su capacidad de dar precisamente en el blanco (reduciendo su equipo de guía o dirección), o bien, su aptitud para poder penetrar las defensas enemigas (reduciendo los dispositivos de penetración que lleva).

Estos criterios conflictivos requieren efectuar transacciones entre los mismos hasta que se logre la solución estimada como óptima.

b) En nuestro país, un automóvil cuyo motor emplea como combustible nafta tiene un precio de venta para un 0km menor que uno que utiliza gas oil, pero el precio de la nafta por litro supera en más del 50% al del gas oil. Por consiguiente, el comprador encuentra a menudo ventajoso hacer un sacrificio en adquirir un auto gasolero para obtener una ganancia en el costo de operación. Este tipo de transacción es bien conocida.

La cuantificación de la importancia del sistema de valores (metas, objetivos, criterios) puede ser utilizada para establecer el equilibrio en los conflictos que se presenten.

En general, el éxito de la optimización depende de la posibilidad del ingeniero que proyecta de:

- 1- Estructurar: en orden jerárquico las metas, objetivos y criterios
- 2-Definir un sistema de evaluación que establezca prioridad y preferencia

Sobre esta base, indudablemente el ingeniero se enfrentará con muchos problemas en los cuales habrá una considerable variedad en cuanto a orden y preferencias. Los métodos o técnicas que son utilizadas para la determinación de óptimas soluciones deben reconocer este aspecto de la definición del problema.

Analicemos como ejemplo, el problema que trata el proyecto y la localización de un dique de control para un área inundable de un río. Se ha tomado la decisión de construir un dique en una ubicación determinada; en este caso la meta está definida, pero la realización de la obra es sola una parte del alcance del problema.

Los dos objetivos que surgen son:

- 1- Maximizar el control de las crecientes del río
- 2-Minimizar el daño al medio ambiente del área

El examen inicial de estos dos objetivos revela que ellos están en directo conflicto y ambos no pueden ser satisfechos.

El criterio para la medición de los objetivos también presenta una situación contrastante. Para medir el efecto de la creciente, se puede asignar un importe en dinero a las pérdidas o potenciales pérdidas provocada por esa causa; siendo esto una forma de medición aproximada. En contraste a ello, el daño al medio ambiente no es fácil de definir y en algunos casos, luego de transcurrido un período de tiempo, no resulta posible. No obstante, ambos objetivos son de importante consideración en los términos del proyecto.

Alguna forma de transacción o acuerdo debe establecerse si se va a alcanzar un compromiso y el dique se construye.

En resumen, un aumento en el costo por el daño de la creciente del río debe ser aceptado a fin de preservar el hábitat natural del área. Si no se logra esta transacción, la meta no podrá cumplimentarse, y otra solución deberá ser analizada y evaluada. Estas elecciones de alternativas constituyen una parte importante del problema de optimización.

#### **4- Optimización**

Una solución óptima es habitualmente definida como la mejor solución técnica alcanzada sin comprometer cualquier meta u objetivo. Representa la solución ideal que permite que todas las metas y objetivos sean alcanzados, pero en realidad tal solución raramente existe.

La naturaleza de los problemas de ingeniería involucran intereses conflictivos y muchos factores y limitaciones del sistema no son bien comprendidos, también criterios de valores tales como relevancia social, calidad de vida, ecología, etc., no pueden ser fácilmente cuantificados o definidos.

Por lo ya indicado el proceso de optimización produce una solución que se acerca a la óptima siendo ésta en realidad una meta que para alcanzarla, puede demandar tiempo y recursos excesivos, haciendo más conveniente orientar los esfuerzos en otra cosa. Se procura avanzar hacia esa meta, buscando mejores soluciones en forma progresiva, hasta lograr una que sea para el proyecto, de realización más conveniente, atendiendo las limitaciones tecnológicas.

#### **5- Suboptimización**

En forma ideal, todos los componentes de un sistema deben ser optimizados con respecto a las metas, los objetivos y los criterios. Para que así sea se requerirá una perfecta comprensión de cada componente dentro de la estructura del sistema, así como también su incidencia en la característica de la respuesta conjunta del sistema.

Estos requisitos alternativos necesitan un único proyectista que debe tener una perfecta comprensión de cada componente, por cuanto un equipo de proyectistas de diferentes disciplinas demanda un coordinador que facilite la comunicación técnica entre ellos. Obviamente ello no se puede verificar en complejos problemas de ingeniería, por lo que en la práctica, un proyecto es frecuentemente subdividido dentro de partes de componentes bajo la responsabilidad de varios equipos de diseño, quedando la calidad y el funcionamiento de estas partes de los componentes controlado por un conjunto de especificaciones que definen las metas y objetivos de cada uno.

El proceso de optimizar un componente de un sistema de acuerdo a subconjuntos de metas, objetivos y criterios es denominado "suboptimización".

Como ejemplo, en el problema del edificio elevado (EA), las tareas pueden ser divididas de acuerdo a disciplinas como sigue: proyecto arquitectónico, proyecto estructural, servicios eléctrico y mecánico, sanitario, aire acondicionado, de transporte, construcción, estético, etc. Cada tarea es controlada por especificaciones para asegurar que las metas y objetivos de todo el sistema del EA puedan ser parcialmente alcanzados. Por cierto, cada una de estas tareas involucra habitualmente muchas subtareas.

Como ejemplo de lo indicado, en el EA el control de la construcción puede ser conducido por una firma de ingenieros, consultores contratada por los propietarios para hacerlos responsables de ese servicio; la construcción real puede ser ejecutada por un grupo grande de subcontratistas en tareas de: excavación y fundación, realización de la superestructura de HºAº, paredes exteriores, terminaciones en el interior, etc.

El proceso de optimización resulta fragmentado en los casos de grandes proyectos y origina que la eficiencia en la organización y la dirección pasan a ser de vital importancia para el éxito de dichos proyectos.

## 6- Métodos de Optimización

El método de optimización que puede ser utilizado para un problema dado depende del grado de ordenamiento que resulte posible establecer para dicho problema. El orden refleja el conocimiento de la estructura del sistema y de las características de su comportamiento, y que las restricciones y criterios del sistema puedan ser cuantificados.

Los métodos de optimización se los agrupa aproximadamente en:

- 1-Analíticos
- 2-Combinatorios
- 3-Subjetivos

### 6.1. Aproximación Analítica

Esta aproximación es aplicable solo a un problema de sistema totalmente ordenado. Un orden total significa un completo conocimiento de la estructura y característica del sistema y cualquiera de los dos hace automático el proceso de optimización, o bien capacita a ambos la estructura del problema y la función de preferencia para los criterios establecida analíticamente.

En este ultimo caso, el proceso de optimización será apoyado por un conjunto de criterios bien definidos que pueden ser usados para juzgar la calidad del proyecto. Este criterio debe ser incluido en los planteos de los objetivos y determinar las metas técnicas, políticas y operacionales del sistema.

El sistema de variables es cuantificado y cada variable es asignada a un valor de sistema acorde con una unidad de medida en común, tal como un valor monetario. Por lo tanto si  $x_1, x_2, x_j, \dots, x_n$ , son  $n$  variables del proyecto en el problema, y " $a_i$ " es el valor de una unidad de " $x_i$ " para el sistema total, entonces el valor total del sistema puede expresarse en una función matemática como la siguiente :

$$C = \sum_{i=1}^n a_i * x_i \quad (1)$$

El objetivo de la optimización, entonces, es encontrar el conjunto de  $x_i$  tal que el valor  $C$  del total del sistema sea máximo o mínimo.

La ecuación (1) representa la forma más simple de una función de criterio, siendo una ecuación lineal que vincula solamente términos de primer grado de las variables del proyecto.

En los casos generales, el valor  $C$  del total del sistema puede aparecer en cualquier forma funcional dependiendo de la naturaleza del problema, por ejemplo

$$C = F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (2)$$

Allí también puede haber más de una función de criterio para un problema de sistema dado. Por lo tanto, si  $C_1, C_2$  y  $C_3$  son tres medidas independientes de un sistema, entonces.

$$C_1 = F_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$C_2 = F_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$C_3 = F_3(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

El proyecto del sistema debe ser optimizado con respecto a todas las tres funciones de criterio. Si no es posible optimizar simultáneamente todas las tres funciones de criterio, entonces un orden de prioridades debe ser especificado para resolver los conflictos.

Por lo tanto, el modelo de optimización para un problema de sistema totalmente ordenado tiene el siguiente formato general:

Máximo o mínimo de las siguientes funciones de criterio

$$C_1 = F_1(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$C_2 = F_2(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$C_3 = F_3(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

.....  
.....

$$C_k = F_k(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Sujeto a las siguientes restricciones del sistema:

Restricciones inferiores:

$$G_1 = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \geq a_1$$

$$G_2 = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \geq a_2$$

.....

$$G_m = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \geq a_m$$

Restricciones superiores:

$$H_1 = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq b_1$$

$$H_2 = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq b_2$$

.....

$$H_m = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq b_r$$

Igualdades:

$$P_1 = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = C_1$$

$$P_2 = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = C_2$$

.....

$$P_s = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = C_s$$

Aproximaciones:

$$Q_1 = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \approx d_1$$

$$Q_2 = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \approx d_2$$

.....

$$Q_i = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \approx d_i$$

Tal aproximación analítica es llamada programación matemática. La solución de este sistema de expresiones matemáticas produce el óptimo conjunto de valores para las variables del proyecto. La aplicación de este método ha sido analizada en el Capítulo VII para la capacidad de una red de rutas.

## 6.2. Aproximación Combinatoria

Cuando el grado de orden que posee el sistema va perdiendo resolución el proceso de optimización puede reducirse a una evaluación simple basada en elegir las mejores alternativas entre una multiplicidad de las mismas.

Supongamos que hay  $n$  variables a considerar en el proyecto del problema, y que ellas están simbolizadas como  $x_1, x_2, \dots$  y  $x_n$ . La aproximación es para identificar el mayor orden probable de los valores para cada una de estas variables y luego analizar todas las posibles combinaciones. Si hay diez valores probables discretas para cada parámetro, un completo análisis combinatorio elevará a  $10^n$  casos.

Es obvio que una aplicación estricta de tal aproximación se torna impracticable aun para sistemas simples que involucren solamente unas pocas variables. Por ejemplo, para  $n=4$  ya habrá aproximadamente  $10^4$  casos para analizar.

De cualquier modo, procedimientos técnicos junto con la experiencia pueden ser usadas, en muchos casos, para eliminar un gran porcentaje de las combinaciones factibles y solamente dejar unas pocas para un detallado estudio y análisis.

Esta aproximación es usada extensamente en problemas donde se emplean análisis de decisión. Todas las posibilidades son analizadas y comparadas para llegar a una óptima decisión.

## 6.3. Aproximación Subjetiva

En situaciones de problemas complejos, puede ser difícil o un imposible establecer modelos específicos o sistemas ordenados en los cuales los casos de métodos subjetivos simples se hacen necesarios. La aproximación subjetiva es la más importante, y frecuentemente es el método decisivo en la optimización.

Factores intangibles tales como valores sociales, influencias políticas, y efectos psicológicos son extremadamente difíciles de cuantificar y de medir: no obstante, estos factores controlan la aceptación o rechazo de un proyecto.

Por ejemplo, una carretera segura no puede ser diseñada sin la consideración de las respuestas características y el comportamiento de los conductores. Tampoco es posible



encontrar una óptima localización para un emprendimiento inmobiliario (barrio parque) sin pagar un costo político y social.

Ya sea que se está en la búsqueda de un proyecto alternativo o en la predicción de la ocurrencia de eventos inciertos en el presente o en el futuro, el criterio de la ingeniería basada en la experiencia obtenida y la previsión juegan un papel indispensable en la optimización.



## **CAPITULO IX - LA CALIDAD Y SU CONTROL**

Para estudiar los distintos factores que intervienen en la calidad de las construcciones de hormigón armado se requiere en forma previa el conocimiento generalizado de aquellos que inciden en la calidad de la construcción civil.

### **9.1. DEFINICIÓN DE CALIDAD**

En general se acepta que la calidad es la capacidad integral que tiene un bien para satisfacer determinado propósito. Si lo referimos a un producto nos proporciona una evaluación relativa a que sus cualidades características (aquellas que definen el objeto) se ajustan a los estándares y tolerancias fijados para calificarlo.

Debemos distinguir que hay calidades medibles objetivamente y otras que responden a puntos de vistas subjetivos. En un edificio, la durabilidad, la resistencia mecánica, el confort térmico y acústico son cualidades susceptibles de medición, en cambio no lo son los aspectos estéticos, criterios especiales, etc.

Si se quiere comparar calidades de una vivienda modesta con una lujosa debemos hacerlo por sus cualidades comunes y que estas sean verificables, como las condiciones de habitabilidad, seguridad, etc.

### **9.2. CONTROL DE CALIDAD**

La calidad es motivo de preferente preocupación en la industria y los usuarios la exigimos diariamente en todos y cada uno de los productos que empleamos. Su control es una actividad que se asocia corrientemente a la etapa de producción de materiales y componentes.

La industria de la construcción civil es una de las más importantes cualquiera sea el parámetro que se utilice: volumen de inversión, capital circulante, número de personas empleadas, etc. Si la analizamos desde el punto de vista de la calidad aparecen en general, como una industria atrasada siendo de público conocimiento (notas en los diarios, evaluaciones estadísticas, etc.) que con frecuencia se presenta en conjuntos habitacionales colectivos o individuales recién concluidos, lesiones de diversos tipos que originan un precoz deterioro de las viviendas.

Las razones de esas deficiencias son varias y parte de ellas pueden atribuirse a la ausencia de un Programa de Control de Calidad en el proceso de producción y uso de la vivienda.

### **9.3. EL CONTROL DE CALIDAD Y LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

El control de calidad debe abarcar todas las etapas de la construcción, desde el planeamiento, pasando por el proyecto, por la fabricación de materiales y componentes, por la ejecución y hasta por la misma utilización de los productos realizados.

No solo los productos, sino también los procesos y los servicios son factibles de ser controlados.

La industria de la construcción civil tiene características propias que la hacen menos dinámica a las demás industrias en la adquisición y el aprovechamiento de las técnicas del control de calidad.

Entre las características que constituyen factores de retraso podemos citar:



- a) se trata de una industria muy tradicional que presenta por ello una gran inercia
- b) es una industria itinerante en la cual la constancia de condiciones, materias primas - procesos se da con mayores dificultades que en otras de carácter fijo
- c) está dedicada a la fabricación de productos únicos y no de productos en serie
- d) no resulta aplicable a la misma la producción en cadena (productos móviles pasando por operarios fijos) y si la producción concentrada (operarios móviles actuando sobre un producto fijo)
- e) emplea mano de obra de carácter temporario con escasas posibilidades de promoción en la empresa lo que incide en una baja motivación para el trabajo y una disminución de calidad del producto
- f) presenta una gran dispersión y diversidad de producción, caracterizada por realizarse en locales distintos (fábricas, estudios de planificación y proyecto, en el lugar de las obras), y por generar a través de diversos procesos diferentes productos como materiales, proyectos, edificios, infraestructura urbana, etc.

A éstas características propias de la industria se le adiciona como efecto negativo para implementar Programas de Control de Calidad en las obras de construcción civil una normalización y legislación deficiente, el escaso interés de los sectores productivos e instituciones públicas al proceso y la falta de organizaciones de usuarios que reclamen mejorar "productos".

Si consideramos los diferentes controles sobre la construcción (fig. IX.1) vemos que son aceptados y utilizados Sistemas de control sobre el desarrollo de la obra (cronogramas de barra, teoría de camino crítico, etc.) y también en el campo financiero y de gerenciamiento, (flujo de caja, amortización y mantenimiento de equipos, etc.) pero existe una gran resistencia para incorporar sistemas de control de calidad.

#### **9.4. EL PROCESO DE PRODUCCIÓN Y USO EN LA CONSTRUCCIÓN CIVIL Y SU CONTROL**

##### **9.4.1. ETAPAS**

El proceso puede ser descompuesto en cuatro etapas de corta duración relativa:

- a) planeamiento
- b) proyecto
- c) fabricación de materiales y componentes
- d) ejecución

Luego de la producción propiamente dicha prosigue una etapa final de larga duración constituida por el "uso" que comprende el correcto empleo y mantenimiento del producto realizado durante su vida útil (fig. IX.2).

El nivel de desempeño y satisfacción proporcionado por la construcción a los usuarios va a depender en gran parte de las cualidades obtenidas en las cuatro etapas de producción del emprendimiento y las que atienden a su uso.

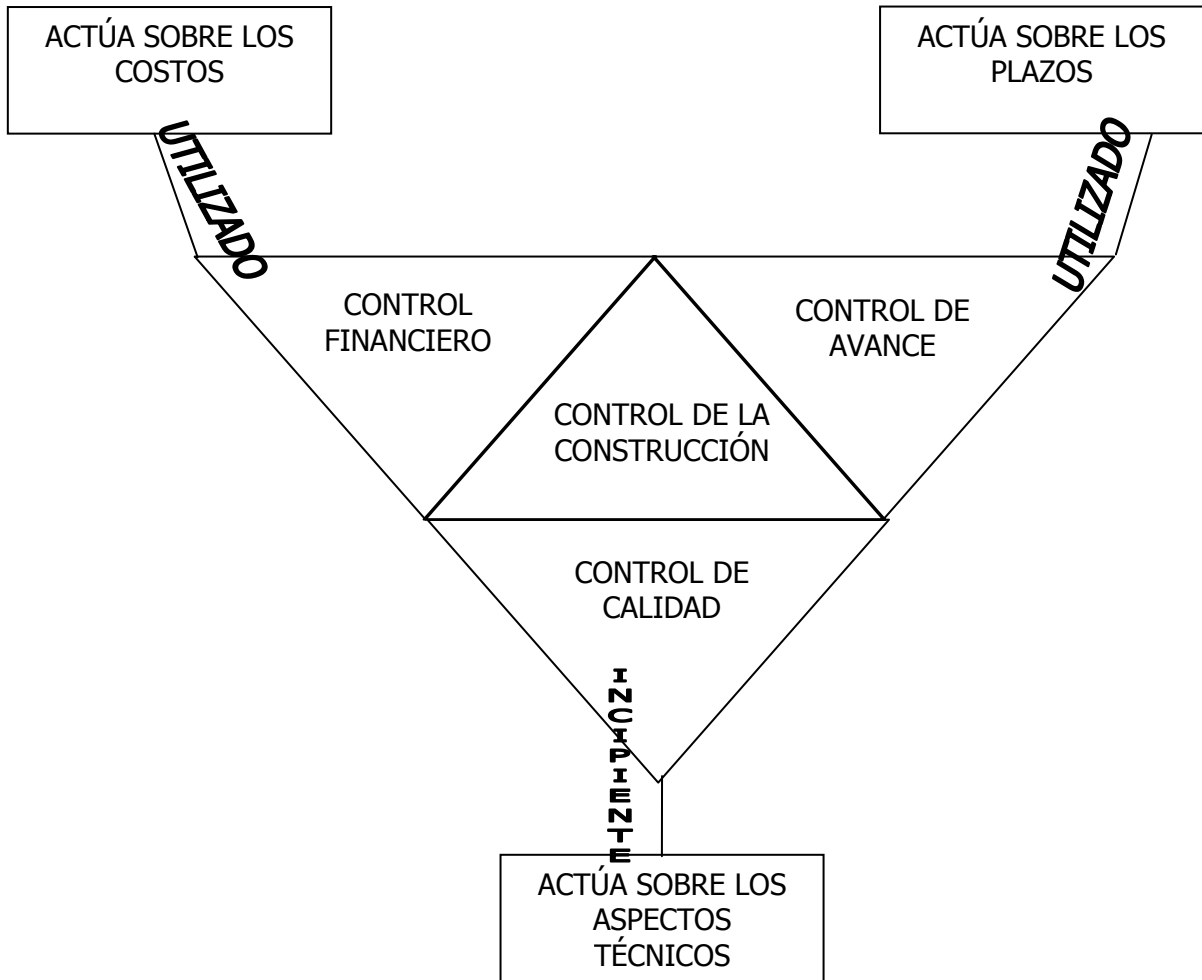


Fig. IX.1.

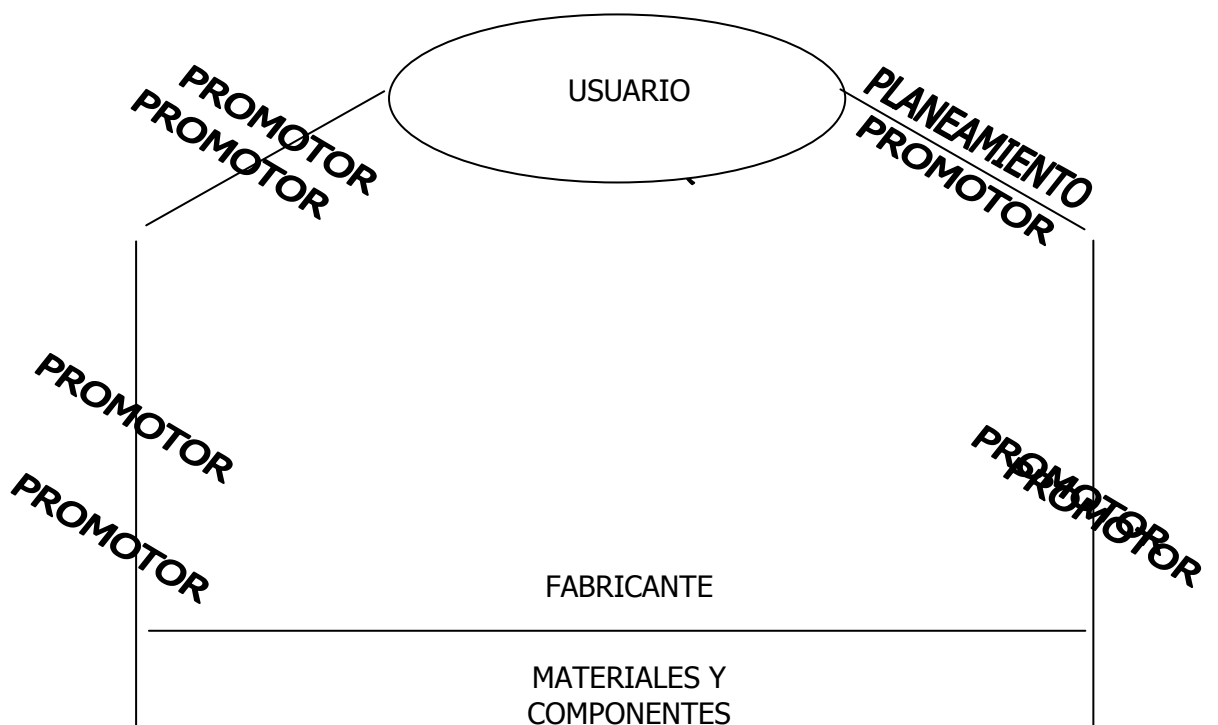


Fig. IX.2.

### 9.4.2. TAREAS A EFECTUAR

En función de implementar el control de calidad en las etapas indicadas, resulta necesario mencionar a grandes rasgos, el accionar que demanda cada una de ellas (fig. IX.3).

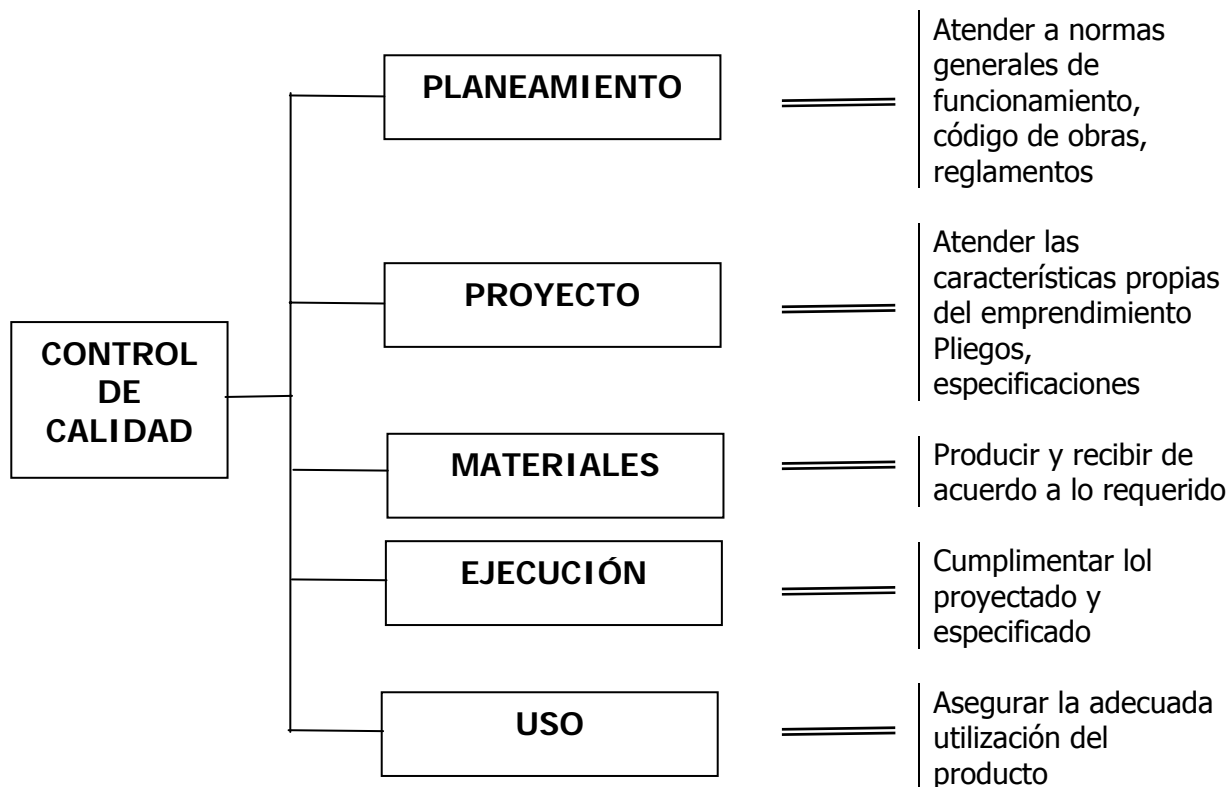


FIG. IX.3.

### 9.4.3. PARTICIPANTES DEL PROCESO

Resulta necesario para llevar a cabo un Programa de Control de Calidad individualizar el rol que desempeñan los distintos participantes en el proceso de producción y uso y su influencia.

Observando la tabla de la Fig. IX-4 notamos que el problema de calidad en la construcción civil comprende aspectos técnicos, legales, institucionales, políticos, etc.

| Participante      | Función que desempeña  | Intervención en la calidad                                     |
|-------------------|--|--|
| Agente financiero | Consigue recursos financieros para posibilitar la obra           | Define los niveles de funcionamiento a atender                 |
| Promotor          | Toma la decisión de construir y hace la planificación de la obra | Define los niveles deseados                                    |
| Proyectista       | Proyecto, cálculo específico                                     | Define las cualidades y características de materiales y partes |
| Fabricante        | Produce materiales, componentes, sistemas y equipamientos        | Responde por la calidad de lo fabricado                        |

|   |  |   |
|---|--|---|
| Laboratorios de ensayo                      | Ensayo materiales, componentes, sistemas y equipamientos           | Verifica las características y desempeño de los citados                           |
| Constructor                                 | Ejecuta las obras  | Responde por la calidad de los servicios y del producto final                     |
| Empresas de organización y control          | Gerencia parte del emprendimiento y ejecuta planes de control      | Controla la calidad de la ejecución   |
| Asociaciones de normalización               | Establecer normas por consenso entre fabricantes y consumidores    | Define calidades en general al certificar las conformidades                       |
| Propietario                                 | Toma la decisión de construir y contrata los servicios             | Influye en la calidad mediante las contrataciones que efectúa                     |
| Universidades e Institutos de investigación | Forma profesionales. Desarrolla nuevos conocimientos y tecnologías | Desarrolla metodologías de control y asistencia tecnológica                       |
| Estado                                      | Establece la legislación pertinente                                | Define la calidad en general<br>Aprueba proyectos<br>Penaliza la falta de calidad |

Fig. IX.4.

## 9.5. PROGRAMA DEL CONTROL DE CALIDAD

### 9.5.1. MECANISMOS DE CONTROL

Se distinguen dos fases de control: el control de producción y el control de recepción.

El primero atiende a la verificación del producto en cada una de las etapas del proceso: planeamiento, proyecto, fabricación y ejecución.

Se trata de un control interno, en el que podemos distinguir al llamado "autocontrol" que es realizado automáticamente por los responsables de la producción, y el control "independiente" que también es interno, ejercido por personal de la misma empresa, pero ajeno a la producción propiamente dicha. Este control interno independiente es muy común en las grandes empresas, tales como siderúrgicas y automotrices y prácticamente inexistente en las de construcción.

El control de recepción por otro lado es ejercido por quien fiscaliza los productos y los servicios ejecutados en las distintas etapas del proceso. Se trata de ejercer un control en el momento en que termina una parte del proceso para dar lugar a otra, consecutiva. Es allí donde generalmente ocurre la transferencia de responsabilidades, y se trata de un control externo a la producción.

Un cuadro resumen nos puede auxiliar en cuanto a las diferencias que presentan el control de producción y el de recepción.

|                   | Control de producción                                   | Control de recepción                                   |
|-------------------|---|--|
| ¿Qué es?          | Control de factores que intervienen en la calidad       | Comprobación de conformidad                            |
| ¿Por qué se hace? | Asegurar la calidad especificada a menor costo posibles | Verificar de alcanzar como mínimo la calidad requerida |

|                 |                     |                             |
|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| ¿Quién la hace? | El productor        | El promotor; el propietario |
| ¿Cómo se hace?  | Inspección continua | Inspección ocasional        |

Fig. IX.5.

En resumen podemos señalar al control de producción como el sistema que ayuda al "productor" a conseguir el elemento especificado de la forma más racional posible. Tiende a obtener información sobre la constancia del proceso (uniformidad del mismo) y calidad de lo realizado, posibilitando modificar las falencias detectadas.

Las correcciones a efectuar en la producción están destinadas a dar las respuestas a las siguientes preguntas:

- ¿Qué etapa del proceso cambio?
- ¿Cuánto modifico de la misma?
- ¿Cuándo lo realizo?
- ¿Qué tiempo debe mantener lo modificado?

En general la mecánica de control que se adopte debe exigir la aplicación de medidas ante deficiencias que sobrepasen los límites especificados.

Si de un producto admitimos como máximo un 5% de defectuosos la función de control exige adoptar criterios de corrección cuando el porcentaje de aquellos llegue a un 3 ó un 4%.

El control de recepción se hace sobre el producto terminado y su finalidad es juzgar la conformidad o no de una cierta cantidad de los mismos atendiendo a sus especificaciones. Es necesario por ello, establecer para cada decisión, una cantidad determinada (lote o muestra), sobre los que se hace las verificaciones.

De acuerdo a los trabajos de García Messeguer ("Para una teoría de la calidad en la construcción"), la experiencia ha demostrado que existen cuatro niveles de Control de Calidad en la construcción civil, los que se van produciendo sucesivamente a medida que se produce el avance de la implementación de los Programas de Control de Calidad en la misma (Fig. IX.6).

| Nivel | Definición  | Símbolo                        |
|-------|---|--------------------------------|
| 1     | Sistema tradicional de supervisión.<br>No existe control de calidad con el concepto actual. |                                |
| 2     | Se efectúa un control de recepción (CR)   | (CR)                           |
| 3     | Se efectúa un control de producción (CP)<br>Independiente del control de recepción (CR)     | (CP)                      (CR) |
| 4     | Se efectúa un control de producción (CP)<br>Combinado con un control de recepción           | (CP) (CR)                      |

Fig. IX.6.

## 9.6. EL CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS

Si consideramos la industria en nuestro país en su relación con el sector habitacional (el más importante en cuanto a inversión), la calidad de los conjuntos construidos presenta niveles que de forma general pueden ser considerados poco satisfactorios, incidiendo ello en

problemas transferidos a los usuarios y en gastos originados en la recuperación y mantenimiento de edificaciones deterioradas precozmente.

Mencionaremos brevemente las fallas más usuales que se presentan en el proceso de producción y uso de los grupos de viviendas.

#### **9.6.1. PLANEAMIENTO**

En esta etapa los problemas principales se encuentran en la localización de los conjuntos, muchas veces no insertos en la malla urbana, carentes de equipamientos comunitarios y de servicio, e implantaciones inadecuadas a las condiciones del medio físico propiciando el surgimiento de procesos de erosión o de degradación del medio ambiente.

Un ejemplo reciente de lo señalado se produjo en barrios de viviendas en ejecución (ente Instituto de la Vivienda) en varias ciudades del interior de la provincia de Corrientes cuyo emplazamiento debió modificarse por las inundaciones provocados por las lluvias acaecidas en el otoño de 1998.

En Resistencia podemos mencionar algunas anomalías como la falta de accesos pavimentados a grupos habitacionales (p. ej. Barrio Güiraldes) o durante muchos años la reducida provisión de agua potable a los mismos (Barrio San Cayetano).

#### **9.6.2. PROYECTO**

La documentación técnica gráfica y escrita necesaria para definir el diseño y asegurar que a través de la parte constructiva la obra sea materializada con los datos y especificaciones que interpreten cabalmente el proyecto, es usualmente insuficiente, uniéndose a ello la falta de una normativa que permita evaluar la conformidad a las referencias establecidas.

Por ese motivo resultaría de valor incorporar en la documentación de la obra, conjuntamente con el Pliego de Bases y Condiciones y el de Especificaciones Técnicas, un Pliego de Calidad que debe abarcar las Especificaciones de Calidad de materiales, mezclas y partes de la obra, y un Plan de Control de Calidad tendiente a sistematizar la fiscalización uniformando procedimientos que guíen a la Empresa y a la Inspección en sus tareas para prevenir y controlar posibles desviaciones.

#### **9.6.3. MATERIALES Y COMPONENTES**

La etapa de fabricación de materiales y componentes y la recepción en obra de esos productos son contemplados por una serie de especificaciones y técnicas de métodos de ensayo, en su mayor parte contenidas en la normas IRAM.

El sistema ideal para asegurar la calidad de materiales y componentes la constituye la Certificación de Conformidad de estos productos para la cual el fabricante conviene el control de los mismos por un ente normalizador ( en nuestro país el IRAM) que certifica (sello), el cumplimiento de los estándares requeridos. Si bien este criterio se va extendiendo aún abarca un número reducido de elementos.

En el país, la política de los entes estatales (nacionales, provinciales, etc.) orientada a la edificación de gran numero de viviendas para sectores de la población con menores ingresos, ha obligado a que el importe destinado a cada vivienda tienda a disminuir, incidiendo ello en la industria de materiales de construcción con la provisión de nuevos productos de menor precio y calidad (para viviendas tipo FONAVI), cuyo comportamiento en general, ha demostrado ser deficiente.

#### **9.6.4. EJECUCIÓN**

Si bien existe en esta etapa un grupo de reglamentos y normas que forman el apoyo documental para las distintas partes de la obra (CIRSOC; OSN; Agua y Energía Eléctrica; IRAM) y que atiendan a sistemas constructivos convencionales (y otras a innovadores en 1.6.2.), resultarla de valor una normativa como la ya mencionada (Plan de Control de

Calidad) que además de definir los criterios del "buen construir" pueda avalar a que lo hecho sea conforme a lo especificado.

#### **9.6.5. USO**

Esta etapa que comprende el uso de los conjuntos habitacionales y de sus unidades es la más larga y la más carenciada técnicamente ya que no existe prácticamente normas sobre uso y mantenimiento.

La situación indicada se agrava cuando se trata de sistemas constructivos no convencionales (por ej. elementos de tabaquería exterior prefabricados) que requieren mantenimientos específicos no conocidos por los usuarios y que llevan a los mismos a realizar trabajos que introducen factores de degradación de la edificación. Se hace necesario implementar un Sistema de Fiscalización de Operación y Mantenimiento de los conjuntos habitacionales y sus partes para asegurar su desempeño satisfactorio a lo largo del tiempo.

#### **9.6.6. CALIDAD EN EL PROYECTO DE VIVIENDAS SEGÚN NORMAS IRAM - ISO 9.000**

La normativa ISO 9.000 (9.000 a 9.004) tiene como objetivo la implementación de un sistema de aseguramiento de calidad en las Organizaciones destinadas a producir servicios o productos, para procurar atender los requerimientos de los usuarios.

Para llegar a la calidad en el proyecto de viviendas es necesario, en base a dichas normas cumplimentar una serie de exigencias de las cuales se transcribe una lista como guía.

En carácter de responsables del proyecto (producción de servicios), se considerará un estudio profesional, una consultora, una empresa constructora o una oficina pública de proyectos.

Se supone en todos los casos la existencia de:

- a) una dirección o gerencia con poder de decisión
- b) un equipo destinado al proyecto de las unidades de vivienda
- c) un grupo encargado de la calidad
- d) un futuro usuario de cada vivienda

Gestión de Calidad -ISO 9.001

La gerencia o dirección define:

- política de calidad, objetivos y el compromiso con la misma, y debe asegurar que esa política es comprendida, implementada y mantenida en todos los niveles de la Organización
- relaciones y responsabilidades entre el personal que realiza y verifica tareas que se relacionen con la calidad
- identifica y registra cualquier problema que incide en la calidad del proyecto
- los procedimientos para examinar a intervalos convenientes el sistema de calidad impuesto para asegurar su eficacia y los registros de dichas verificaciones

#### Sistema de Calidad - ISO 9.004

El proyecto debe lograr que la vivienda sea realizable y controlable en las condiciones propuestas de producción, costo, uso y durabilidad para lo cual deberá atender:

- las responsabilidades de los equipos internos y externos de la Organización (estudios de suelo, estructurales, de instalaciones, etc.)
- datos precisos, claros y completos para la provisión adecuada de los materiales, ejecución de los trabajos y la verificación de la conformidad de los productos y procesos
- establecer una programación de las etapas del proyecto con las verificaciones que correspondieran (Ejemplos: concordancia entre planos estructurales y de instalaciones con los de arquitectura ,etc.)
- contemplar los reglamentos y normas de seguridad, habitabilidad, durabilidad, etc.





- definir los criterios de aceptación y rechazo de elementos y de sus partes
- prever elementos y/o materiales que permitan costos de mantenimiento no elevados para el usuario no sea afectado

El proyecto deberá ser controlado atendiendo al aseguramiento de la calidad, y debe estar definido lo que se verifica y quien lo realiza. En general para dicha tarea se tendrá en consideración:

- aspectos de seguridad, habitabilidad y durabilidad
- el personal que realiza la verificación no debe haber participado en el proyecto y será de calificación igual o superior al que lo hizo
  - se efectuarán listas de verificación de planos y especificaciones, comparando necesidades, funcionamiento de las viviendas, cumplimiento de normas y reglamentos
  - el cálculo estructural sera revisado analíticamente
  - se revisará la calidad de los elementos propuestos y la posibilidad de conseguirlos en el medio, así como los criterios de aceptación y rechazo de los mismos
  - se analizarán los ensayos y comprobaciones a realizar en obra y en laboratorios, y los procedimientos para ejecutarlos
  - se analizará en detalle los costos de la obra comparándolo con los recursos previstos
  - se estudiarán las posibles patologías que pudieran originarse por inadecuado proyecto en los items importantes

#### Informes de Verificación

Los resultados de los controles citados se documentarán y las modificaciones adoptadas señalarán en planos y pliegos.

\* El tema está basado en el artículo del Ing. Horacio Mac Donnell publicado en el N° 375 de la Revista Vivienda titulado "Calidad en el diseño de viviendas.

## **9.7. LESIONES EN LAS CONSTRUCCIONES**

### **9.7.1. GENERALIDADES**

En nuestro medio se presenta con frecuencia quejas sobre lesiones en las construcciones que el periodismo recoge y denuncia imputando defectos de proyecto y negligencias de ejecución a la falta de conocimiento técnico de los que participan en la obra.

Desde el punto de vista profesional es importante aprender a partir de los defectos hallados en la práctica, de manera de obtener conclusiones y evitar similares fallas y por otro lado conocer los métodos para corregirlas cuando ya han aparecido.

Ocurre en muchos casos que las lesiones son reparadas por el propio constructor no buscando la garantía en el arreglo sino en que no la note el cliente, por lo que transcurrido un tiempo, es factible que el problema vuelva a presentarse.

Las fallas que afectan a la estructura de una obra pueden ocasionar problemas de importancia y su estudio, y análisis de las causas que la originan, requiere una atención especial porque son de tipo evolutivo y al agravamiento de la deficiencia condiciona la vida útil de la construcción, requiriendo por ello reparaciones a corto plazo.

### **9.7.2. PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

Las deficiencias y lesiones que experimentan las construcciones a lo largo de su vida por causas diversas tales como degradación de los materiales componentes, acciones exteriores agresivas, errores de concepción y ejecución, etc., ha llevado al estudio de una nueva disciplina en el ámbito tecnológico que por su similitud con las enfermedades que afectan a los seres vivientes es designada como Patología en la Construcción.

El lenguaje de la Medicina empleado se extiende al análisis del conjunto del problema estableciendo claras diferencias entre lo que denominamos síntomas que son las diferentes formas de deterioro cuyas manifestaciones son conocidas, de la enfermedad que provoca

aquellas anomalías, y de la terapéutica o tratamiento, que se refiere a las reparaciones o refuerzos que resulta necesario efectuar para restablecer la construcción y subsanar los daños.

El conocimiento de las enfermedades ayuda para que las obras nuevas existentes (que se encuentren sanas) sean proyectadas, construidas y mantenidas correctamente, y siendo válido el proverbio de que "es mejor prevenir que curar" la tendencia es lograr, -en base a propuestas de calidad que portan desde el origen, condiciones de durabilidad.

Al igual que en toda actividad humana en la industria de la construcción se producen fallas y el periodismo recoge en especial aquellas que por su magnitud ponen en riesgo a las obras, y en determinadas situaciones la vida de las personas. Esa información llega a la opinión pública como una denuncia, en la que los defectos de proyecto o negligencias en la ejecución son atribuibles a la falta de conocimientos técnicos de quienes han participado en ellas.

Desde el punto de vista del quehacer profesional se brinda en la actualidad cada vez mayor importancia al conocimiento de las deficiencias que se verifican en la práctica estudiándolas para precisar sus orígenes.

Al respecto, si bien en la literatura técnica internacional se encuentran textos, artículos de revistas especializados y memorias de congresos dedicados al estudio de patologías diversas (en especial a las que provocan lesiones en la estructura resistente de las obras) no ocurre lo mismo en nuestro país, donde aun los desastres estructurales que originan pérdidas cuantiosas son, a nivel general, aceptados con un criterio fatalista y olvidados, luego de transcurrido un corto tiempo, desconociéndose las conclusiones de los informes de los peritos que realizan las investigaciones que podrían evitar errores futuros atribuibles a similares causas.

Los defectos menores que se producen con frecuencia en las construcciones trascienden solo en casos aislados y la experiencia indica que en su mayoría deben ser soportados por los usuarios.

Considerando distintas fases que integran una realización nos preguntamos: ¿es la industria de la construcción argentina segura y digna de confianza de manera de garantizar las realizaciones en su campo específico con un mínimo de fallas?

La respuesta es negativa y se corrobora ello con numerosas anomalías de amplio conocimiento en nuestro medio.

Las deficiencias que se producen son, en pocas situaciones, atribuibles a los errores que acompañan al desarrollo de nuevos materiales y técnicas y si analizáramos las modalidades constructivas corrientes es posible observar como en las obras se pone de manifiesto las presiones generadas para lograr mayores economías otorgando una prioridad casi absoluta al presupuesto con relación a factores de proyecto, materiales y ejecución, soslayando criterios de durabilidad y reduciendo la participación profesional capacitada, a pesar de que su incidencia en el costo total resulta pequeña.

La solución a este problema es compleja pero no imposible y requiere que la industria de la construcción proporcione condiciones de calidad que la sociedad tiende a exigir de otras industrias vinculadas al bienestar humano, y los mecanismos destinados a ese fin pueden ser adoptados de los que se aplican con éxito en los países de elevado desarrollo (controles de proyecto, aptitud técnica de materiales verificados mediante ensayos en laboratorios tecnológicos, supervisiones durante ejecución de las obras, controles generales de funcionamiento de la misma, organización del mantenimiento, etc.).

### **9.7.3. ORIGEN DE LAS LESIONES**

Institutos europeos dedicados a la calidad en la construcción han analizado a que etapa del proceso de producción y uso son atribuibles las lesiones denunciadas. Tomaron un periodo de dos años (década del 80) y su incidencia porcentual (sobre alrededor de 1.500 casos).

$$P_2 = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) = C_2$$

| <b>Causas de las lesiones</b>                        | <b>RFA</b> | <b>Bélgica</b> | <b>Rumania</b> |
|--|------------|----------------|----------------|
| Defectos del proyecto                                | 40,1%      | 49%            | 37,8%          |
| Defectos de ejecución                                | 29,3%      | 22%            | 20,4%          |
| Defectos de los materiales                           | 14,5%      | 15%            | 23,1%          |
| Defectos de utilización                              | 9%         | 9%             | 10,6%          |
| Ruina en general (generalmente por más de una causa) | 7,1%       | 5%             | 8,1%           |

Fig. IX.7.

Nuestra principal atención debe orientarse a reforzar la información de los proyectistas y de las empresas constructoras. Las causas atribuibles a los materiales de construcción y a su aplicación son también, en gran parte, síntomas del avance tecnológico, como tiene que ocurrir forzosamente con la introducción de materiales nuevos y el desarrollo de los mismos.

Sin embargo estas cifras indican también que los defectos de ejecución, incluida la utilización errónea de los materiales y su empleo inadecuado alcanzan al 53% aproximadamente del total de lesiones.