



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Ingeniería de Valor  
Beneficios y oportunidades de incremento  
del valor en obras de ingeniería civil**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:**

**Manuel Alejandro Calzeta Valdés**

**Director de tesis:  
M. en I. Esteban Figueroa Palacios**



**MÉXICO, D.F.**

**2012**





## **Jurado asignado**

Presidente: M.I. Gabriel Moreno Pecero

Vocal: M.C. Esteban de Jesús Figueroa Palacios

Secretario: M.I. Gustavo Carlos Argil Carriles

1er. Suplente: Ing. Ernesto René Mendoza Sánchez

2do. Suplente: Ing. Marcos Trejo Hernández

Ciudad Universitaria, México D.F.

Director de tesis:

---

M.C. Esteban de Jesús Figueroa Palacios

# Agradecimientos

*A mi abuela †, por impulsarme a  
cada paso y brindarme su apoyo*

*A mis padres, por apoyarme  
amorosa e incondicionalmente  
en todo momento*

*A mis hermanos, por ser mis  
amigos*

*A mis amigos*

*A Jessica, por estar conmigo en el  
momento justo y brindarme su  
comprensión y cariño*

*A mis maestros, porque sus  
enseñanzas siempre fueron más  
allá del aula*

## Índice

Introducción.....	8
1.- Historia de la Ingeniería de Valor y su aplicación.....	9
2.- Descripción de la metodología .....	11
2.1.- ¿Qué es la Ingeniería de Valor? .....	11
2.2.- Identificación de los componentes .....	15
2.3.- Análisis de funcionalidad e Ingeniería de Valor .....	18
2.4.- Fase de información .....	20
2.5.- Fase de especulación .....	23
2.5.1.- Especulación y creatividad .....	23
2.6.- Fase analítica.....	27
2.7.- Fase de planeación del programa.....	29
2.8.- Fase de ejecución del programa.....	30
2.9.- Fase de reconocimiento y conclusiones .....	32
3.- Áreas de oportunidad para reducir costos en proyectos .....	33
3.1.- Planeación .....	33
3.2.- Diseño.....	34
3.2.1.- Enfoque y metodología .....	35
3.3.- Construcción .....	35
3.4.- Esquemas posibles para llevar a cabo la Ingeniería de Valor.....	36
4.- Uso de la IV en el campo de la ingeniería civil.....	39
4.1.- Ingeniería de Valor en obras hidráulicas.....	40
4.1.1.- Comparación del concreto compactado con rodillo (CCR) y el concreto convencional.....	41
4.2.- Ingeniería del valor en vías terrestres.....	42
4.2.1.- Comparación del concreto hidráulico y el asfalto.....	42
4.3.- Ingeniería de Valor en puentes.....	45
4.3.1.- Comparación de tierra armada con cargaderos y estribos de concreto .....	45

5.- Condiciones ideales para el aprovechamiento de la Ingeniería de Valor en México.....	47
5.1.- Características de la industria de la construcción.....	47
5.1.1.-Sector privado.....	49
5.1.2.-Sector público.....	50
5.2.- Introducción de la Ingeniería de Valor en las organizaciones.....	50
5.2.1.-Especialista en valor.....	53
5.2.1.1.- Principales responsabilidades del ingeniero de valor.....	53
5.3.-La Ingeniería de Valor como actividad independiente.....	54
5.4.- Algunas ideas para el diseño de una estrategia para introducir la Ingeniería de Valor en los proyectos civiles en México.....	55
5.4.1.- Evidencia de aplicación de Ingeniería de Valor en México.....	55
5.4.2.- Estrategia de divulgación, comunicación y convencimiento.....	56
5.4.3.- Estrategia de capacitación.....	57
5.4.4.- Estrategia de financiamiento e incentivos.....	58
6.-Bosquejo de la aplicación de la Ingeniería de Valor en el diseño del puente “Las Lajas III”.....	60
6.1.- Descripción del proyecto.....	60
6.1.1-Superestructura.....	62
6.1.1.1-Losas.....	63
6.1.1.2-Trabes.....	63
6.1.1.3-Diafragmas.....	64
6.1.1.4-Apoyos de neopreno.....	65
6.1.2-Subestructura.....	65
6.1.2.1-Pilas.....	66
6.1.2.2-Caballetes.....	67
6.2-Fase Informativa.....	67
6.3-Fase especulativa.....	70
6.4-Fase analítica.....	71
6.5-Fase de desarrollo.....	74
6.6-Fase de presentación.....	77
6.7-Fase de implementación.....	78

6.7.1.- Ejemplo de reporte de Ingeniería de Valor para el proyecto “Las Lajas III” .....	79
6.7.1.1.- Descripción y comparación de propuesta.....	80
6.7.1.2.- Comparación de costos.....	83
6.7.1.3.- Implementación .....	84
6.7.1.4.- Material, mano de obra y maquinaria empleados.....	85
6.7.1.5.- Conclusión y recomendaciones.....	85
Conclusiones.....	87

## **Introducción**

Actualmente en México, existe un notorio aumento en la exigencia de las aplicaciones de Ingeniería civil. Es evidente que con la ayuda de nuevas tecnologías, dichos proyectos pueden llegar a ejecutarse, sin embargo, también se aprecia un aumento de complejidad que representa retos más grandes para la ingeniería mexicana.

Hoy en día es posible presenciar la ejecución de puentes más altos, carreteras cuya velocidad de diseño es mayor, presas cuyo procedimiento constructivo es más complicado, etcétera. Por ello resulta necesario definir mejoras y fomentar la creatividad en los proyectos de ingeniería, para poder incrementar su funcionalidad y reducir los costos totales.

En este trabajo se encuentra una propuesta para lograr los dos objetivos ya mencionados, haciendo uso de una metodología llamada Ingeniería de Valor, con la cual se busca elaborar un plan de trabajo en donde se puedan generar dichas alternativas creativas y funcionales, con las cuales se pueda tener un incremento significativo del valor de un proyecto.

El objetivo general de este trabajo es definir las estrategias y condiciones generales para la correcta aplicación de la Ingeniería de Valor y consecuente reducción de costos en obras de infraestructura, a manera de hacer el bosquejo de integración de un proyecto de Ingeniería de Valor para el puente “Las Lajas III”.



## **1.- Historia de la Ingeniería de Valor y su aplicación**

El evento que desató el desarrollo de la Ingeniería de Valor fue el problema de asbesto que ocurrió en 1947 en la compañía General Electric en Estados Unidos. Apenas había terminado la segunda guerra mundial cuando el asbesto que era el material de uso más común en la construcción era escaso. A través de algunos proveedores especiales General Electric descubrió que había un sustituto del asbesto a un menor costo, sin embargo, las regulaciones de control de incendios, que recomendaban el uso del asbesto en edificación, prohibía el uso de dicho material sustituto.

El incidente benefició a General Electric en el largo plazo, ya que hizo una extensa investigación de materiales y productos distintos a los que utilizaba. Este esfuerzo dirigido por Lawrence D. Miles fue estructurado para encontrar el mejor método para incrementar el valor de cualquier producto.

Se le dio al grupo un tiempo de 5 años y un presupuesto de 3 millones de dólares; el sistema que ellos desarrollaron es lo que hoy se conoce como Ingeniería de Valor o análisis de valor.

La Ingeniería de Valor fue introducida en Japón por primera vez en el año de 1955, sin embargo, no tuvo un éxito inmediato y fue hasta 1960 que la industria empezó realmente a usar esta metodología.

En Febrero de 1960, un agente de la asociación nacional de consumidores visitó Japón con el propósito de conducir unos seminarios de ingeniería de adquisición en varios lugares por el país y fue en estos seminarios en los que se introdujo ideas de ingeniería del valor para gerencia de adquisición.

En Diciembre de 1960, el Instituto de administración de negocios en Japón introdujo un curso de análisis del valor. Se podría decir que este tipo de seminarios fueron los que permitieron a Japón el enorme desarrollo en la última generación.

Las condiciones de introducción de la Ingeniería de Valor en Japón no pudieron ser mucho mejores; la economía japonesa se movía directamente a una recesión, debido al exceso de inversiones resultantes de un tremendo crecimiento económico. De manera simultánea la política de comercio internacional era explotada, abriendo grandísimas oportunidades de exportación para las

manufactureras japonesas. Para poder ser competitivas localmente y en el extranjero, la industria pronto se vio forzada a reducir los costos. Las ventajas de la Ingeniería de Valor sobre otras metodologías se hicieron visibles y el método fue implementado por las compañías eléctrica y automotriz.

Exitosas reducciones en el costo en estas industrias fueron el pavimento del camino que tomaría la Ingeniería de Valor para ser adoptada por otras industrias y en 1963, la metodología fue aceptada por constructores de embarcaciones, vías férreas y manufactureras de vehículos pesados. En 1964 la aplicación se había extendido a básicas industrias de maquinaria y desde 1965 se extendió desde las industrias de fabricación hasta las industrias de procesos, posteriormente a las industrias del metal, de comida, de químicos y del acero. En los años recientes, este sistema también ha sido tomado por las empresas de arquitectura y construcción.

Mejoras en la teoría y la práctica de la Ingeniería de Valor, han conducido a estudios funcionales, como la definición y evaluación de la función de los productos, pudiendo así estudiar el valor de manera más consciente.

El papel de la Ingeniería de Valor como un logro para la administración de los negocios es, hoy en día, de pleno conocimiento. La Ingeniería de Valor está siendo cada vez más aceptada en el mundo como método para asegurar el valor de productos y servicios.

Hoy en día la Ingeniería de Valor está brindando excelentes resultados como método de reducción de costos y aunque en México apenas vaya tomando forma su aplicación a la construcción y arquitectura, es posible que en un futuro presente buenos resultados como en otras partes del mundo donde se ha aprovechado mas esta metodología. En capítulos posteriores se presenta un esquema de cómo podría ser esto posible en nuestro país

## 2.- Descripción de la metodología

### 2.1.- ¿Qué es la Ingeniería de Valor?

En la industria de la construcción, la Ingeniería de Valor es un proceso estructurado de evaluación de la funcionalidad de un proyecto, para poder asegurar que se está entregando a un cliente un proyecto que es efectivo en cuanto a costo.

El rápido progreso tecnológico y el feroz ambiente competitivo de hoy en día, significa que nunca había sido tan necesario tener una buena comprensión de la industria, así como una constante mejora en el manejo de los recursos económicos para que las empresas puedan generar utilidades.

Naturalmente, todas las organizaciones intentan mantener su nivel de generación de utilidad, la cual es la fuente de prosperidad en una organización. Sin embargo, obtener mejores utilidades y mantener la estabilidad y crecimiento de una empresa, requiere que aquellos recursos que ya han sido obtenidos en los proyectos sean utilizados de manera más efectiva; esto incluye evitar todos aquellos costos que no repercuten en la calidad de las obras civiles.

En años recientes, la Ingeniería de Valor, ha captado la atención de las empresas como Nuevo método para mejorar la reducción de costos, lo cual (por lo comentado anteriormente) se traduce en una mayor rentabilidad para las empresas, incluyendo empresas de construcción.

La Ingeniería de Valor se define como:

***Un logro sistemático para analizar los requerimientos de funcionalidad de los productos y servicios con el propósito de obtener la funcionalidad esencial al menor costo total.***

En resumen la Ingeniería de Valor es un sistema que una empresa puede emplear de manera organizada, para mejorar el valor de sus productos o servicios y así obtener una reducción en costos como fin último.

El valor es una relación entre funcionalidad y costo; en los proyectos ingenieriles se busca obtener los beneficios (o funcionalidad) al menor costo posible por lo que es necesario seguir una metodología de optimización para incrementar el valor en los elementos que conforman un proyecto. La Ingeniería de Valor, permite llevar a cabo dicha metodología para identificar aquellos elementos que carecen de valor y poder incrementarlo. De esta manera la idealización que se tiene del valor se suele esquematizar de la siguiente manera:

$$\text{Valor} = \frac{\text{Función}}{\text{Costo}}$$

Fig. 1 Idealización del concepto de valor

Los aspectos fundamentales de la Ingeniería de Valor son los siguientes:

- Está basada en las funciones o propósitos requeridos de la obra

Para poder aplicar la metodología se deben conocer perfectamente los requisitos o necesidades del proyecto, ya que las modificaciones que se hagan para aumentar el valor de los elementos que carecen de él, pueden ser decisiones que a su vez afecten la funcionalidad de otros. Por ejemplo: Una nueva propuesta de distribución de columnas en un edificio (claro más largas) podría aumentar la capacidad de áreas públicas en el inmueble, sin embargo, esta decisión también podría afectar la capacidad del estacionamiento quitándole valor.

- Es una metodología multidisciplinaria

La metodología de la Ingeniería de Valor se puede aplicar en cualquier etapa de un proyecto posterior a la del diseño sin embargo, no es igual de efectiva en todas ellas, pues hay un ahorro potencial que disminuye al transcurrir las etapas. Por ejemplo: En la etapa de construcción de un proyecto ya las especificaciones están dadas (del proyecto ejecutivo), por lo que las únicas decisiones que se pueden tomar para agregar valor son cuidar la calidad y supervisión, conseguir precios especiales con proveedores de concreto, acero y otros materiales, así como eficientar los procesos constructivos al máximo para obtener la utilidad deseada al menor costo posible. Por otra parte, si se aplica la Ingeniería de Valor para evaluar los elementos que contiene el proyecto inmediatamente después del diseño se puede cambiar los materiales, proponer una nueva geometría, nuevos elementos estructurales y hacer correcciones o cambios de última hora en el proyecto ejecutivo, asegurando una funcionalidad al menor costo posible como consecuencia de una adecuada aplicación de la Ingeniería de Valor.

- Sigue una metodología específica

La metodología comprende los siguientes aspectos:

- Identificar los principales elementos de un producto, servicio o proyecto.
- Analizar las funciones que realizan los elementos del proyecto.
- Utilizar tormentas de ideas (Brainstorming) para desarrollar varios diseños alternativos para ejecutar esas funciones.
- Evaluar las diferentes alternativas para asegurar que no degraden el proyecto.
- Asignarles costos (incluso los costos de su ciclo de vida total) a cada una de las alternativas seleccionadas y
- Desarrollar recomendaciones aceptables para las alternativas seleccionadas. La auditoría debe verificar el programa del proyecto o enumerar las necesidades del cliente y obtener la información sobre las condiciones de contorno existentes que afectan al diseño del proyecto utilizando la información disponible para definir las metas, objetivos y restricciones que deben satisfacer el sistema, incluyendo ingeniería de costos, ingeniería de construcción y expertos en el tipo de actividades diseñadas. El analista debe desarrollar sistemas alternativos que pudieran ser más efectivos en costos y pudieran construirse más rápida y económicamente. Para aprovechar el tiempo de diseño en la obtención de un sistema óptimo, los analistas deben investigar sistemas alternativos en una secuencia lógica que tienda a lograr los resultados óptimos potenciales.

***El objetivo de la Ingeniería de Valor es eliminar o reducir la incertidumbre de encontrar soluciones alternativas a las del diseño en curso que sean de igual o mejor funcionalidad y de menor o igual costo mediante la determinación del programa de necesidades del cliente que sirven de base para la preparación de los criterios y especificaciones del diseño.***

(Merchán Gabaldón Faustino)

La clave de la Ingeniería de Valor es que consiste en un enfoque organizado, es decir, un plan de trabajo que se conforma de una serie de herramientas a utilizar por cualquiera que busque una reducción significativa de los costos en sus obras de ingeniería. De seguir el plan de trabajo en forma adecuada, el estudio resulta en que el 20- 50% (y a veces más) del costo total de algunos componentes puede ser reducido. El plan de trabajo mejor conocido es aquel hecho famoso por Larry Miles, el cual consiste en las seis siguientes fases:

- Fase de información
- Fase de especulación
- Fase analítica
- Fase de planeación del programa o fase de desarrollo
- Fase de ejecución del programa o fase de presentación
- Fase de reconocimiento y conclusiones o fase de implementación

## 2.2.- Identificación de los componentes

El punto de vista del consumidor

El término valor en el análisis de valor le pertenece al juicio del cliente o el consumidor. De esta manera, en Ingeniería de Valor, el aumento del valor del producto es alcanzado desde el punto de vista del cliente. Por lo general, análisis significa seccionar un objeto en secciones pequeñas, pero en Ingeniería de Valor, el propósito del análisis es detectar los problemas relacionados con el valor del producto o servicio, desde el punto de vista del cliente o consumidor.

Normalmente, cuando un cliente hace una compra, éste no se fija meramente en el valor aparente. La compra es realizada sólo después de que el cliente es satisfecho por la función o utilidad del producto, de esta manera, el cliente paga por un “paquete de funciones” que el producto ofrece. Así, el cliente puede considerar que el producto carece de valor cuando:

- ◆ Este no cumple con las expectativas
- ◆ Es complicado de operar y/o mantener
- ◆ Se descompone o no funciona bien con frecuencia (en la edificación esto se da cuando el diseño de las instalaciones es deficiente)

El grado en el que la Ingeniería de Valor puede tomar lugar en la detección de problemas, es determinado por la comparación de la de la función del producto por el cliente con la función que espera.

El punto de vista de la funcionalidad

Un negocio comercial puede aumentar sus beneficios mediante 3 posibles métodos:

1. Subir el precio del producto
2. Aumentar las ventas del producto
3. Reducir el costo del producto

Sin embargo, no es fácil aumentar los precios a causa de la alta competencia en el mercado; hay límites para reducir el costo del producto a través del incremento de producción en grandes cantidades y las ventas aceleradas. De esta manera, el único método que queda para aumentar los beneficios es la reducción del costo de producción; tradicionalmente la reducción de costos había sido llevada a cabo a través del análisis de la estructura de costo del producto, y tratando de reducir los costos en cada uno de los componentes de producción (ver figura 2), pero de cualquier manera, uno no puede esperar obtener una reducción de costos sustancial por métodos tradicionales.

El costo de los materiales generalmente va incrementando y los costos de los procesos también presentan tendencias de aumento, debido a la inflación y escasez de nuevos recursos de trabajo.

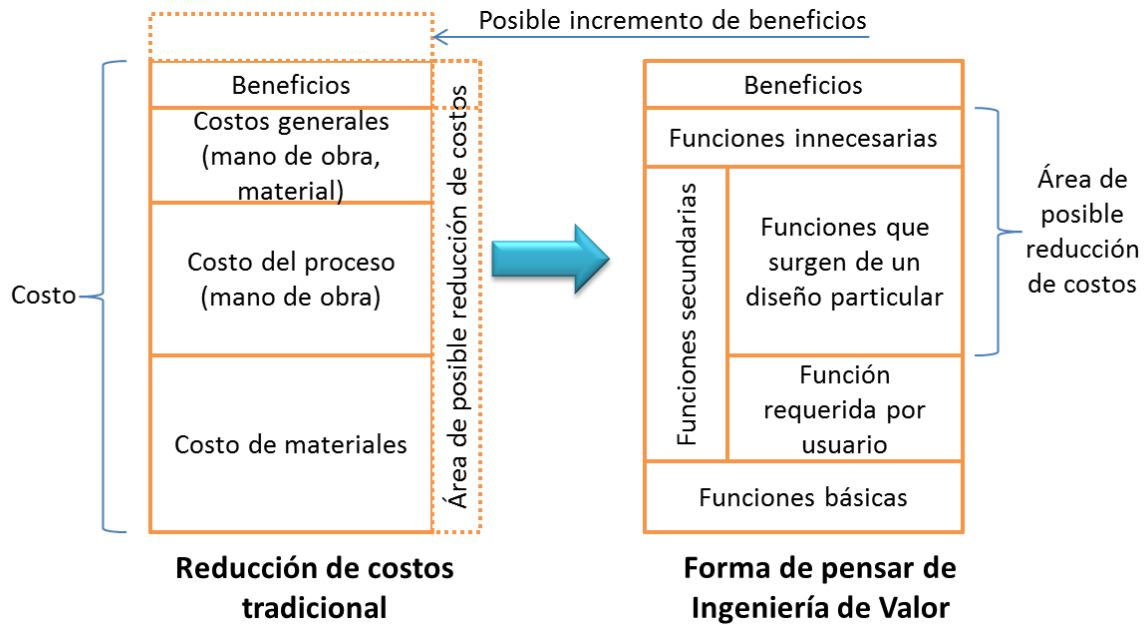


Fig. 2 enfoques de funcionalidad e idealización de costo

En contraste con el enfoque tradicional de reducción de costos, la Ingeniería de Valor enfoca el problema de forma orientada a la funcionalidad. En Ingeniería de Valor el costo del producto se divide en dos: un costo relacionado con las funciones básicas del producto y un costo asociado a las funciones secundarias del producto, siendo estas aquellas que fundamentan las funciones esenciales. Las funciones secundarias son aquellas que son requeridas por el cliente y que se crean a partir de una función primaria. La definición que se presenta en el manual elaborado por el Departamento de Transportes de Virginia Occidental se cita a continuación:

Una función básica define la característica principal que debe ser lograda. Ella refleja la razón primera de un componente o de un sistema. En el caso del desarmador, la función sería normalmente “transmitir torque” pero no necesariamente. Por ejemplo, si la tarea deseada fuera abrir latas de pintura, la función debería ser definida más apropiadamente como transmitir una fuerza lineal en vez de transmitir fuerza rotacional. De esta manera, se debe comprender claramente la necesidad del usuario si se pretende poder desarrollar la idea básica.

Un componente puede poseer más de una función básica; ésta siempre debe responder a la pregunta ¿Qué debe de hacer?

Una función secundaria también define las características de un componente o sistema diferentes de las que se quieren lograr. Esta función responde a la



pregunta ¿Qué más hace? Por ejemplo, la función básica de una pintura exterior es “proteger la superficie” y una función secundaria es “mejorar apariencia”.

Después de las funciones básicas y funciones secundarias existen funciones innecesarias, éstas se deben a excesivas y complejas especificaciones de diseño (por ejemplo: comodidades que no son necesarias en lo absoluto), medidas de seguridad extremistas debidas a una revisión deficiente del proyecto o simplemente por capricho del diseñador (en el caso de la edificación, el arquitecto).

Tomando este enfoque de funcionalidad, la Ingeniería de Valor primero elimina aquellas funciones innecesarias, posteriormente, haciendo modificaciones al diseño (incluyendo cambios en los materiales, métodos de manufacturación, transporte, métodos de prueba, etc.) los costos relacionados con las funciones secundarias se pueden reducir. En Ingeniería de Valor, los pasos principales para estudiar la funcionalidad son:

1. definir las funciones
2. desarrollar un modelo de configuración funcional
3. evaluar las funciones

Aquí yace la calidad del método.

### 2.3.- Análisis de funcionalidad e Ingeniería de Valor

***“Hace cuatro o cinco años, un dólar valía 240 yenes japoneses. Ahora, un dólar sólo vale 130 yenes – una decadencia de casi el 50%. A pesar de esta devaluación, las compañías japonesas aun vendían sus materiales en Estados Unidos y como estas mismas compañías japonesas no podían doblar sus precios de venta (de automóviles y video caseteras) para mantenerse competitivos, se vieron obligados a ejercer presión sobre sus ingenieros para reducir los costos de las partes que constituían sus productos. Las empresas cumplieron esto último optimizando sus operaciones de manufactura, reduciendo la variedad de las partes componentes y estudiando cuidadosamente las funciones de cada componente del diseño. Las consecuencias de estas medidas fueron una reducción significativa en los costos”***

**(Norman Bodek)**

El análisis de funcionalidad fue introducido en 1947 como una técnica para analizar las funciones deseadas para el diseño y mejoramiento de productos. Desde entonces, el dominio de su aplicación ha crecido no solamente para la parte física del diseño de los productos sino también para procesos, operaciones e indirectas actividades administrativas. Su campo de aplicación es amplio y también puede aplicarse a los proyectos de ingeniería civil pues hay que recordar que uno de los requisitos de las obras de ingeniería es precisamente la funcionalidad.

Para poder aplicar bien la metodología Ingeniería de Valor hay que asegurarse que se está comprendiendo en su totalidad la función que nuestra obra y sus componentes cumplirán.

En el análisis de funcionalidad, el término función tiene tres significados:

Las funciones son acciones, trabajo o cosas

El término función en este análisis se refiere a todo aquello que no permanece fijo en el proyecto, todo aquello que se puede cambiar o que puede representar una nueva propuesta, es lo que forma parte de este análisis.

Las funciones tienen un propósito

Se puede atribuir acciones a una variedad de cosas, pero el análisis solo toma en cuenta aquellas acciones que son útiles para la gente.

Las funciones siguen el concepto de funcionalidad

El análisis no incluye factores en el proyecto que son meramente estéticos sino únicamente los que son funcionales.

Conviene hacer una tabla como la que sigue para presentar la información.

**Proyecto:**

**Elemento:**

**Función básica:**

**Fecha:**

**Unidad: Miles de pesos**

Cantidad	Unidad	Componente	Función		Clase primaria o secundaria	Costo original	Valor
			Verbo	Sustantivo			

## 2.4.- Fase de información

Todo programa de Ingeniería de Valor, en el cual se busca una decisión, requiere de reconocer primeramente la información general del proyecto y ponerla en orden. Algunas veces el problema se revolverá prácticamente por sí mismo si los ingenieros se aseguran de haber obtenido toda la información disponible para el estudio. Esta información consiste en:

1. Definir claramente el problema y los parámetros principales de diseño.
2. Definir con certeza la función que tendrá el elemento en estudio. Hay que recordar que un proyecto no se puede analizar como un todo, hay que realizar un análisis de cada componente o al menos las más significativas; si se sigue la regla de Pareto se puede deducir lo siguiente:

**El análisis del 20% de los elementos (el 20% más importante) corresponde al 80% del ahorro total.**

3. Conseguir información adicional relevante referente a esos procesos, probablemente el diseño del proyecto y sus componentes provenga de información obtenida hace mucho tiempo, con tecnologías antiguas o ya desechadas de la práctica profesional y por ello es necesario realizar una investigación extensa del uso de nuevos materiales, nuevas soluciones, nuevos procesos constructivos y nuevas tecnologías aplicadas a problemáticas comunes.

Pero de lo anterior surge una pregunta muy importante:

¿De dónde se puede obtener toda esta información relevante?

Se puede sugerir una serie de pasos a seguir para poder contar con información suficiente:

1. Contactar al grupo de planeadores quienes pueden obtener especificaciones generales de este proyecto. Este grupo de personas nos podrá informar hacia dónde va encaminado el proyecto: ¿Cuál va a ser el uso que se le va a dar a la obra?, ¿Cuántos años se requiere que funcione?, ¿Cuál es la necesidad fundamental o los requisitos con los que debe cumplir este proyecto? Si alguna de estas personas fue supervisor en la etapa de diseño puede también informarnos de cuáles alternativas ya fueron tomadas en cuenta y qué consideraciones tuvieron, para poder evitar realizar dos veces el mismo trabajo.
2. Contactar al ingeniero constructor para aprender cómo se ejecuta ese tipo de proyecto. Preguntarle si tiene ideas para facilitar la constructividad. Éste mismo puede sugerir ciertas modificaciones en el diseño que por lo general complican el proceso constructivo, lo cual aumenta el tiempo de construcción, el costo, sin afectar la calidad. Una vez hecho esto, hay que

regresar con el equipo de diseño, verificar si las ideas propuestas por el constructor son factibles y exponer todas las ideas que hayan surgido hasta este punto.

3. De las alternativas reconocidas, revisar la parte de costos para el diseño, la construcción, materiales, mano de obra y gastos generales. Ésta, por desgracia es una parte donde muchas organizaciones pierden su objetivo. La única manera de librarse de malos entendidos es colocar la explicación de los costos en un reporte, aunque hay mucha diferencia en las actividades de control de costos de cada empresa. Sin costos reales, la Ingeniería de Valor no puede aplicarse.
4. El contratista podrá informar de las empresas que ya han sido involucradas y las que se planea involucrar. Puede ser aconsejable también preguntar a las empresas que participaron ya o que participarán en el proyecto por sugerencias técnicas para poder aprovechar la experiencia de éstas en la elaboración de trabajos y asegurar una calidad confiable.

En éste punto se debe resumir el problema para que se pueda entender de una manera más sencilla. También es necesario detenerse y revisar que en la información obtenida no se haya omitido ningún aspecto relevante.

1. ¿Se ha comparado la información de diseñadores con libros de ingeniería y registros de otras obras para determinar la validez de la propuesta?
2. ¿Se ha solicitado ya la información de las fuentes más confiables?
3. ¿Se ha determinado un estado de insatisfacción, donde se pueda ver qué tipos de problemas se nos pueden presentar?
4. ¿Se han comparado ya los costos en su totalidad?
5. Finalmente, ¿Se han quitado ya todos los obstáculos que han ido apareciendo (problemas legales, sociales, etc.)?

Esta recopilación de información es un trabajo realmente difícil, pues se necesitan costos, inventario, especificaciones, historia de desarrollo y todo aspecto por pequeño que pueda parecer resultará de gran ayuda.

Un “sin fin” de problemas se resuelven por sí solos cuando la información completa se tiene. Esta información obtenida por el medio ya comentado resulta engañosa pues muchos especialistas a los que se acuda brindarán información que realmente son opiniones (propias o de alguien más). El ingeniero que

supervisa esta fase debe ser un experto en separar información y ficción (información que no se encuentra debidamente justificada). Esta recopilación de información resulta ser la fase menos agradable del proceso por la cantidad de personas y partes que intervienen en el proyecto, pero claramente es la más significativa. Todas las decisiones que se tomen de aquí en adelante se basarán en esta base de información.

Información que debe corroborarse:

1. ¿Cuál es el componente del proyecto?
2. ¿Dónde irá colocado? Investigar las características generales.
3. ¿Qué función cumplirá?
4. Identificar las áreas de mayor costo y mayor riesgo de aumentar los costos
5. ¿Lo compras o lo haces?
6. ¿Cuál es el periodo de vida esperado?, ¿El que se desea?, ¿El que se requiere?
7. ¿Qué tan viejo es el diseño del componente?, ¿Qué otros diseños ya se han probado?, ¿Qué problemas han surgido con cada uno de los diseños?
8. Cuando se le solicita a distintas partes esta información, se debe solicitar también recomendaciones para reducir los costos y otorgar crédito por las ideas que se vayan a utilizar.

En conclusión, se debe conseguir toda la información necesaria para crear una serie de propuestas con la mayor consistencia posible, congruentes con el tiempo disponible y después conseguir toda la información necesaria para quitar obstáculos que puedan interferir con la propuesta elaborada. Por si las dudas, se debe conseguir la mayor cantidad de información posible, pues si bien no toda información es adecuada, ningún proyecto se ha perdido por el exceso de información.

Si estos pasos son llevados a cabo en un tiempo pertinente, la información comenzará a trabajar y se tendrá disponible antes de la hora en que se tomen las decisiones.

## **2.5.- Fase de especulación**

Después de terminada la fase de información, se da comienzo a la fase de especulación, que es la siguiente fase. En realidad la fase de información nunca termina realmente, pues la información sigue llegando constantemente y siempre tiene que ser revisada y archivada debidamente. La información que llega una vez comenzada la fase de especulación (información tardía) podría hacer que la dirección del proyecto cambie por completo. Es por ello que es necesario comenzar a buscar toda la información tan pronto como sea posible (al menos, según Pareto, el 20% más importante). Posteriormente se podrá observar que la información con la que se cuenta no nos dará los elementos suficientes para tomar decisiones y precisamente ahí es donde entra la especulación. Por ejemplo: Un cliente nunca te va a decir exactamente cuántas personas espera que utilicen los sanitarios de un edificio, así como tampoco existe la certeza de cuantos automóviles utilizarán una autopista de México, ni mucho menos qué problemas sociales o económicos se presentarán durante cualquiera de las fases del proyecto. De esta manera se podrá tener la capacidad de obtener un sin fin de soluciones posibles contando con la máxima cantidad de información documental.

Esta es una excelente fase para implementar la creatividad ya que la reducción de costos no viene por sí sola, lejos de ello, se debe de realizar una serie de propuestas que puedan ser consultadas con el cliente para asegurarnos de que todas esas propuestas conservan el concepto de funcionalidad.

### **2.5.1.- Especulación y creatividad**

Aquí es donde se pone a trabajar la parte creativa. Una vez que los problemas son definidos, se puede comenzar esta fase. Aún antes de tener toda la información, tan pronto se hayan definido los problemas se puede comenzar con esta fase del plan de trabajo de Ingeniería de Valor. La primera pregunta formulada tiene que ver con las necesidades para que el concepto de funcionalidad se mantenga y se cumpla. Si en vez de ello se realiza la pregunta ¿Qué función tendrá el objeto en estudio? Se generarán todas las soluciones posibles. Cuyos enfoques se deben basar en el concepto de funcionalidad del cliente y complementarlos ya que de ello depende la calidad desde el punto de vista del cliente.

Se debe recordar que generalmente el concepto de funcionalidad del cliente está incompleto, se debe ser observador e inferir las necesidades del cliente para poder ser creativos y satisfacer las necesidades en su totalidad. Si no se comprende la función del elemento en estudio, se corre el riesgo de que al llegar a dar una solución no se está satisfaciendo la necesidad en su totalidad, y al implementar el programa de plan de trabajo de Ingeniería de Valor elaborado se requiera realizar cambios, que resulten inadecuados.

Posteriormente se debe hacer uso de la “lluvia de ideas” y encaminarnos hacia un uso libre de la imaginación. Se recolecta ideas de nuestros colegas, de

vendedores, subcontratistas y por supuesto de conclusiones generadas por discusiones entre especialistas de diferentes campos de la ingeniería civil. El plan es generar tantas ideas como sea posible, sin criticar ninguna, incluyendo aquellas que puedan parecer absurdas, pues hay que recordar que toda solución que se pueda generar en este punto es válida pues el juicio de las mismas irá hasta el final de la etapa de creatividad y no antes; éste lleva por nombre “Fase analítica”.

Hay varias técnicas que pueden ayudar a comenzar el trabajo. Primeramente se tiene la “lluvia de ideas” que ya ha sido mencionada anteriormente; la siguiente podría ser considerar los procesos constructivos, productos y materiales requeridos; después se puede aplicar una técnica llamada “blast and refine”. Aquí es donde se considera un enfoque totalmente distinto.

“Blast and refine” describe una filosofía básica de la creatividad usada en la Ingeniería de Valor. “Blast” quiere decir que se debe remover de la mente cualquier solución preconcebida para el problema. Se debe tratar de olvidar o dejar de pensar en la solución tradicional, el costo o la configuración física del elemento y pensar en términos de los requisitos de funcionalidad antes determinados. Se genera un gran número de soluciones posibles y se termina con una buena solución hablando únicamente en términos de funcionalidad, en vez de solamente hacer una modificación menor en donde el ahorro podría no ser significativo y en consecuencia el análisis de valor no valdrá la pena.

El pensamiento deliberado y organizado es vital para la creatividad. Un reporte de psicología muestra que la creatividad se compone de 4 pasos fundamentales, los cuales son:

#### 1. Preparación

La etapa de preparación comprende el definir a la perfección un problema. La preparación significa recolectar toda la información relevante de un problema (Plan de trabajo de la Ingeniería de Valor – fase informativa) y jugar con ideas tentativas y alternativas que podrían satisfacer las especificaciones.

Siempre se debe recordar la importancia de definir el problema propiamente para que el problema resuelto sea el problema correcto.

#### 2. Incubación

La etapa de incubación comprende en aislar el problema y no trabajar más en él. Esto prepara la mente para el paso 3 (iluminación). La duración de la incubación es indeterminada.



### 3. Iluminación

La etapa de iluminación ocurre de manera espontánea sin la necesidad de acciones voluntarias. Ésta ocurre muy rápido durando apenas unos segundos.

Un ejemplo de estas dos etapas es cuando te encuentras a una persona que sabes que conoces y cuyo nombre no recuerdas, hasta dejar de esforzarte por recordar; saludas, te retiras y al pasar un lapso de tiempo y sin hacer ningún esfuerzo, el nombre te viene a la cabeza.

### 4. Verificación

La etapa de verificación se da cuando se evalúa la idea obtenida en la etapa de iluminación.

Se debe tomar en cuenta para el proceso de creatividad las siguientes sugerencias:

- Tome cursos avanzados de especialización en los puntos clave de la Ingeniería de Valor aplicada a la ingeniería civil, esto es, cursos de estructuras especiales, cursos de actualización sobre software, investigación de materiales, etc.
- Asistir a convenciones referentes a las obras de ingeniería para las cuales se haga Ingeniería de Valor así como a reuniones para cuestiones técnicas podría ser de gran ayuda. Visite laboratorios de materiales y mecánica de suelos, entre otros sitios de interés para ampliar el conocimiento del tema.
- Ponga atención a los reportes del campo en el que se está enfocando. Escuche las quejas y comentarios comunes acerca del elemento en estudio.
- Trate de enfocar cualquier problema tan creativamente como sea posible
- Siempre pregunte si las cosas que están por hacerse tienen formas diferentes de llevarse a cabo. Por ejemplo: generalmente en la parte de diseño estructural, para una misma solución existe más de un proceso constructivo y ese proceso constructivo a su vez tiene diversas variantes y pueden usarse distintos materiales, por lo que es necesario ampliar el conocimiento en ese sentido.

#### Ayudas para especular

Para poder comenzar correctamente con la parte de especulación es necesario realizarnos una serie de preguntas y profundizar en ellas:

1. ¿Es este componente del proyecto realmente necesario? Esta parece ser una pregunta superflua, pero algunas veces se llega a la conclusión de que existe una mejor forma de hacerlo económicamente hablando.

2. ¿Es este componente muy complejo? A veces el diseño puede ser simplificado prescindiendo de algunas partes, ornamentos o pasos constructivos intermedios. Reduciendo los costos y aumentando la confiabilidad.
3. ¿Puede esta parte ser hecha mediante otro proceso constructivo?
4. ¿Es posible utilizar elementos prefabricados? Muchas veces el uso de estos disminuyen el tiempo de ejecución y también el costo.
5. ¿Es posible utilizar un material más económico? Generalmente en el campo de la ingeniería civil los costos de los materiales ya están bien definidos por las empresas que los elaboran; estos precios ya son eficientes al haber un mercado con una gran competencia, sin embargo, es posible obtener mejores precios a través de la negociación dependiendo los volúmenes de material que se requieran.
6. ¿Puede implementarse para esta parte un nuevo proceso constructivo? Posiblemente el aplicar la creatividad nos pueda llevar no solamente a cambiar de métodos constructivos para economizar, sino también se debe recordar que los problemas son oportunidades y en el caso de la Ingeniería de Valor, al aplicar la creatividad también se pueden realizar nuevos procesos constructivos con recursos actuales y patentarlos.

## 2.6.- Fase analítica

Ahora que se ha alcanzado la tercera fase del plan de trabajo de Ingeniería de Valor se debe evaluar cada idea que fue generada. Cada idea debe ser vista desde la pregunta: ¿Cómo puedo llevar a cabo éste trabajo?

¿Qué conocimiento especializado se requiere para continuar? Es aquí donde la experiencia, capacitación, y una base de conocimiento amplio son usadas. La riqueza en información precedente –familiarización con materiales, procesos constructivos, nuevas tecnologías y proveedores adecuados- es importante.

Cada idea debe ser indiscriminadamente revisada y evaluada y no ser descartada prematuramente. Este es el mejor momento para aplicar nuestro mejor juicio y escoger los caminos más productivos a seguir. Un error en esta decisión puede costar tiempo valioso, entonces esto te obliga a pensar en todas las alternativas posibles, antes de tomar una decisión.

Hay que recordar que el objetivo es generar ideas, no hacer más corta la lista de posibilidades eliminando la mayoría de ellas. Profundice y justifique antes de eliminar cualquier idea. Mantenga una actitud positiva cuando se discutan las posibilidades con el ingeniero responsable; no querrá que el ingeniero piense que es usted un tipo de “doctor no” para el cual la respuesta a toda pregunta es “no” y ninguna propuesta es posible.

Hay una tendencia de bloquear el desarrollo de alternativas, debido a la diversidad de opiniones, especificaciones, apariencias, o incluso falta de confianza. No se debe permitir que estas razones detengan la creatividad.

Otro aspecto que se debe de tomar en cuenta para el análisis de funcionalidad es la técnica o método que se emplee para evaluar la función básica. Para hacer esto, uno debe de ser capaz de describir la función en dos palabras: un verbo y un sustantivo. Si se tiene dificultad para hacer esto, hay que preguntarse si se comprende la función del objeto en estudio en realidad. Si esto sí se puede hacer entonces se está entendiendo en su totalidad la función del producto.

Después usted puede separar las funciones básicas de las secundarias. Una parte puede a menudo implicar más de un trabajo. El motivo por el cual se dividen las funciones así es porque a veces el trabajo secundario tiene un costo excesivo y este tipo de revisión puede detectarlo. Sí, a veces es más económico usar una parte adicional que reducir los costos totales. Esto es verdad a pesar del hecho de que normalmente se busca reducir los costos para beneficiar el panorama de gastos general.

En búsqueda de un mayor valor, es importante mantener una confianza total en que este en efecto existe. Revisar alguna de las técnicas discutidas.

Después de que las alternativas han sido listadas, llega la hora en que debes analizarlas y seleccionar la más prometedoras. Añade un costo a cada una de ellas. No trate de eliminarlas; en vez de ello, trate de hacer que cada una funcione. Las ideas que funcionarán deben ser desarrolladas con todo el empeño posible. Utilice las técnicas descritas en éste capítulo para aumentar su probabilidad de éxito.

Las frases más comúnmente escuchadas en juntas de trabajo que detienen la creatividad son:

1. Estoy de acuerdo pero...
2. Hemos intentado eso también pero...
3. Lo hicimos de esta manera...
4. El procedimiento no permitirá...
5. No funcionará
6. No está contenido en el presupuesto...
7. ¿De dónde vendrá el dinero para eso?
8. No puedes hacer eso...
9. Deberías conocer mejor...
10. Pienso que esas son patrañas...
11. El costo es demasiado alto
12. Hemos intentado eso antes y no funcionó
13. No estamos listos para eso
14. Imposible
15. No funcionará para nosotros
16. Es impráctico
17. No es factible
18. Toma demasiado tiempo
19. ¿Quién lo llevará a cabo?
20. Es nuevo podría contener errores
21. No haremos las cosas de esa manera
22. Todas las empresas lo hacen así
23. Son demasiados problemas
24. No
25. No, no
26. No, no, no
27. No, no, no, no

## **2.7.- Fase de planeación del programa**

En la fase de planeación del programa, se toman las ideas más prometedoras y se elabora un programa para cada una teniendo en cuenta que será parte del nuevo diseño. Ninguna de las ideas planteadas podrá ser desarrollada por una sola persona. Aquí es el punto donde se vuelve necesario consultar a personas especialistas dentro y fuera del equipo de Ingeniería de Valor y aún si usted es capaz de hacer este trabajo es recomendable conseguir expertos en la materia, para agilizar el trabajo y evitar problemas futuros; requerirá de un gran apoyo para superar obstáculos que se presenten en el proceso, para lo cual los reportes de los expertos ayudarán considerablemente.

Cuando se busca ayuda de proveedores, no sólo dibuje y pregunte: ¿qué es capaz de hacer con lo disponible? Haga a estos subcontratistas parte del equipo. Elabore un programa que incluya su participación y el tiempo necesario para cualquier plan alternativo, anticipé al riesgo. Comuníqueles lo que está tratando de hacer y solicite que le aporten ideas basadas en los bosquejos del proyecto.

En el proceso de planeación encontrará diversos obstáculos que deberá superar. De hecho, la mejor manera de hacerlo es desarrollando compenetración en el equipo de diseño. Cuando ellos vengan a solicitarle consejos y sugerencias, significa que el trabajo de Ingeniería de Valor está bien encaminado.

Este trabajo no puede ser hecho de una noche para otra; lejos de ello, cuesta mucho trabajo. Hay pasos que se pueden seguir para crear este tipo de compenetración en el equipo: Se debe averiguar qué es aquello que necesitan o quieren los diseñadores. Si lo que ellos necesitan es solucionar dudas sobre el diseño de estructuras en concreto, se debe invitar a un especialista de diseño en concreto para dar una plática. Realizar lo mismo para procesos constructivos o cualquier tipo de dudas o conocimiento. Mostrar al grupo que está de su parte preguntándole qué información necesita usar.

Después de haber generado todas las alternativas y sus respectivos costos, éste es el momento de acortar la lista seleccionando las alternativas mejores y las que podrían ser un plan B en caso de que algo no saliera como se espera. Un claro ejemplo sería el estudio de Ingeniería de Valor aplicado a una cimentación, para el proceso constructivo podría haberse propuesto una excavación con taludes verticales y al llevarlo en la práctica el ingeniero proyectista se da cuenta que la exploración de campo no se llevó a cabo adecuadamente por lo que el talud resulta inestable. En consecuencia, la solución para realizar la cimentación cambiará y podrá ser encontrada en el plan que se elabora al analizar cada una de las alternativas, rescatando todo el tiempo que sea posible.

## **2.8.- Fase de ejecución del programa**

La fase de ejecución del programa es la continuación natural de la fase de planeación del programa. Este es el punto donde las ideas comienzan a materializarse o desarrollarse. Estas deben revisadas con una pregunta en mano de suma importancia: ¿Es en realidad ésta la mejor idea? Este es el punto donde se debe juzgar al fin todas las alternativas, poniendo así fin a la creatividad.

El programa planeado debe ser seguido en esta fase y se debe tener un trato continuo con los especialistas, proveedores, subcontratistas, etc. sin interrupciones. Toda la información, ideas y planes deben ser preparadas para seguir la última fase de Ingeniería de Valor. Toda la acumulación de información, pensamiento creativo, evaluación y planeación no tienen ninguna relevancia si no se llevan a cabo y esta es la etapa de acción, donde los esfuerzos hechos rinden frutos.

Habiendo planeado extensivamente lo necesario, ahora se debe asignar el trabajo a un equipo para ejecutar apropiadamente dicha planeación. En este punto ya se debe tener todo documentado, incluyendo las investigaciones prioritarias correspondientes que se llevaron a cabo en la parte de planeación. Una vez hecho esto, se analizan y se descartan aquellas alternativas cuyo costo es alto; éste será el primer criterio. Si se requieren pruebas para tomar una decisión (como pruebas de mecánica de suelos o actividades de obra inducida) hágalo inmediatamente.

Hable con personas que puedan criticar sus ideas: ingenieros especialistas, ingenieros con experiencia, personas de laboratorio y contratistas. Una vez más, se debe repetir que el trabajo de Ingeniería de Valor es una prueba de relaciones humanas para recibir asistencia de la gente correcta y después asegurarse de que obtengan algún crédito por su participación en el proyecto.

Las siguientes técnicas deben ser utilizadas:

1. Asigne un signo \$ a cada idea. No apoye o promueva una idea solamente porque sea suya. Muchas alternativas pueden verse bien y ser aparentemente prometedoras hasta que averigua el costo. Considere todos los costos incluyendo costos indirectos, costos a largo plazo y costos de operación.
2. Obtenga su información de personas que saben de lo que están hablando y evite aquellas que sólo sean opiniones, la muestra de que una persona sabe de lo que está hablando es que sabe justificar lo que dice y sabe explicarlo. Es sorprendente cómo información errónea puede ser aceptada sólo porque la persona que lo plantea tiene una “fuerte opinión”.
3. Use medidas y soluciones estándares tanto como sea posible. Los componentes que han sido estandarizados ya están muy estudiados y a causa de la competencia en el campo de la construcción se han transformado en soluciones económicas, sin embargo, en la ingeniería civil, todos nuestros proyectos son diferentes, por lo que no siempre se puede

utilizar estas soluciones estandarizadas, ya que surgen problemas diferentes y en consecuencia soluciones diferentes.

4. Evalúe comparando su diseño con una solución común, identifique las funciones y no la forma física. Seguramente la solución común no cumplirá con todos los requerimientos de su proyecto pues como se ha comentado, en la ingeniería civil todos los proyectos son distintos y por lo tanto seguramente su geometría será distinta también. Sin embargo, puede darle una buena idea en cuanto al costo.
5. Realice las mismas cinco preguntas:
  - ¿Cuál es el elemento en estudio?
  - ¿Cuál es su función?
  - ¿Cuánto cuesta?
  - ¿Qué complementos debe llevar para cumplir con su función?
  - ¿Cuánto cuestan los complementos?
6. Sea específico con todas sus preguntas. Obtenga costos e información específicos en respuesta a las preguntas anteriores.
7. Finalmente, utilice su propio criterio. En Ingeniería de Valor no se supone que usted acepte como respuesta “es la política de la empresa” o frases sin sentido similares. Hay aún muchos procedimientos que son un verdadero desperdicio de dinero, por lo que no hay que aceptar ese tipo de respuestas. Si algo parece no estar bien, es irracional, o si las tolerancias parecen no ir de acuerdo con la función que desea, es muy probable que la gerencia le agradezca por hacérselo saber.

Para que la información sea convincente, es necesario que sea respaldada. Sus preguntas deben ser estructuradas para organizar toda la información; las preguntas deben de llevar a obtener toda la información. Si más tarde en el diseño se topa con una persona que ya no acepta realizar cambios podría sonar necio y fuera de lugar plantear preguntas que no se hicieron desde un principio. Así que asegúrese de tener todas las preguntas y respuestas satisfactorias.

Al elaborar el reporte póngase en los zapatos de su gerente de proyectos o supervisión y asuma que éste tiene un conocimiento mínimo de la situación, después asuma que conoce la situación perfectamente y si siente que su reporte es apropiado en ambos casos, seguramente entregará un buen reporte.

## **2.9.- Fase de reconocimiento y conclusiones**

Éste es el último paso en el plan de trabajo de Ingeniería de Valor, aquí es donde se pone en marcha el proyecto y se realiza con la información que se tiene. Es una fase de reporte el cual actúa sobre los resultados del estudio.

En este punto, tome toda la información recopilada, incluyendo ejemplos, bosquejos, fotografías, dibujos, etc., e inclúyalos en un reporte. Este reporte conseguirá tres cosas: en este documento se muestra a todo el equipo la forma en que se idealiza el problema, éste contiene ya más de una solución para un mismo problema (planeadas debidamente en la fase anterior) y provee de toda la información precedente al problema.

El reporte final es un documento que contiene el estudio de Ingeniería de Valor de todos los elementos del proyecto, incluye una recomendación concisa de ahorro y reducción de costos de cada parte que sufrirá cambios. La información en éste reporte contiene:

1. Una explicación gráfica del proyecto antes y después de la Ingeniería de Valor.
2. Estimación de cantidades de obra utilizadas al año.
3. Material, mano de obra y costos de los mismos, con el viejo enfoque y nuevo enfoque
4. Costo de herramienta y maquinaria que conllevan los nuevos métodos
5. Un apartado que describa en su totalidad la función de las partes estudiadas.
6. Recomendaciones en forma condensada

De nuevo, hay que recordar los aspectos esenciales a considerar cuando se elabora un reporte:

1. Ponerse en el lugar de quien leerá nuestro reporte. Considere la capacitación, la experiencia e intereses de aquellas personas por las que pasará el reporte.
2. Explicar perfectamente los elementos que para los que reciben el reporte son relevantes.
3. Poner comparaciones de costos antes y después de la Ingeniería de Valor.
4. Colocar también una comparación del enfoque antiguo con el enfoque actual.
5. Incluir comentarios y conclusiones además de un resumen descriptivo del trabajo.

Este es la última fase del plan de trabajo de Ingeniería de Valor.



### **3.- Áreas de oportunidad para reducir costos en proyectos**

El objetivo de este capítulo es mostrar las áreas de oportunidad que nos llevarán a un costo general óptimo del proyecto cumpliendo con la función requerida. A continuación se enlistan y explican dichos campos de oportunidad:

#### **3.1.- Planeación**

En el escenario de desarrollo de planeación, hay beneficios adicionales que se derivan del trabajo de Ingeniería de Valor. Como ya se había argumentado en el capítulo anterior, un equipo independiente puede:

- ❖ Revisar el programa
- ❖ Realizar un análisis funcional de la parte en estudio
- ❖ Obtener la definición de valor del usuario y el cliente
- ❖ Definir el criterio clave y los objetivos del proyecto
- ❖ Verificar o validar el programa propuesto
- ❖ Revisar las opciones de utilidad del plan maestro
- ❖ Ofrecer soluciones alternativas
- ❖ Verificar si el presupuesto es adecuado para el programa desarrollado

Los beneficios de realizar todo esto son realmente importantes:

- ✓ Cualquier cambio en el programa en este caso resulta de bajo o nulo impacto en el calendario de trabajo, así como en el costo de rediseño.
- ✓ El proyecto será desarrollado con cambios escasos, rediseños, y un mayor entendimiento de parte de todos los componentes respecto a su función y especificaciones.
- ✓ Un equipo independiente puede traer un punto de vista objetivo y diferente, respecto a nuestras soluciones alternas, proveniente de su experiencia con otros proyectos similares.

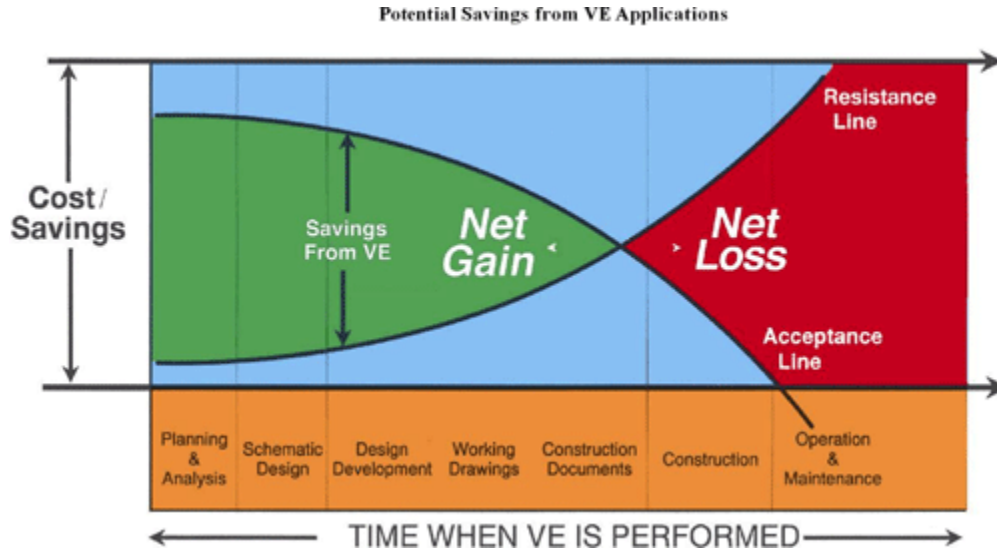


Fig.2 .1 Ahorro potencial con la Ingeniería de Valor

En la figura 2.1 se muestra claramente como el ahorro potencial es mayor mientras más temprano se lleve a cabo el estudio de Ingeniería de Valor. Donde la rama superior (que decrece en el tiempo) es el potencial de reducción de costos y la rama inferior (que crece en el tiempo) son los costos de implantación.

### 3.2.- Diseño

Este es el escenario donde la mayor parte de los participantes en la Ingeniería de Valor se comienzan a involucrar, cuando el diseño ha alcanzado un nivel esquemático. La mayor parte de los sistemas gubernamentales requieren al menos una sesión de Ingeniería de Valor de tal manera que se pueda discutir y dar a conocer un precio aproximado. La herramienta primaria disponible para el equipo de trabajo es el gabinete, donde se trabaja durante una larga sesión para determinar un diseño.

El gabinete es una oportunidad para reunir el equipo de diseño con el cliente para revisar las soluciones de diseño propuestas, el costo estimado, el calendario de implementación (programa de obra) y el enfoque de implementación para obtener el mejor valor. La definición de “buen valor” de un proyecto en particular podrá variar dependiendo el cliente o del proyecto.

### **3.2.1.- Enfoque y metodología**

Durante el actual trabajo de gabinete se siguen tal y como fueron planteados los seis pasos (fases) básicos del plan de trabajo de Ingeniería de Valor, en el capítulo anterior:

1. Fase de información
2. Fase de especulación (Fase creativa)
3. Fase analítica (Fase de evaluación: ¿Cómo puedo llevar a cabo el trabajo creativo?)
4. Fase de planeación del programa (Evaluación de alternativas y programa de ejecución de las más prometedoras, así como la elaboración de soluciones a posibles problemas)
5. Fase de ejecución del programa (Fin de la creatividad y evaluación económica, todo lo planeado se lleva a cabo con gran detalle)
6. Fase de reconocimiento y conclusiones (Reporte de cambios en el proyecto original y resultados del estudio)

Además de los beneficios monetarios, el trabajo de gabinete de Ingeniería de Valor provee una importante oportunidad para que los participantes puedan discutir las decisiones tomadas y ver el proyecto desde diferentes puntos de vista. De manera que el proceso de Ingeniería de Valor produce los siguientes beneficios:

- ✓ Oportunidad de explorar todas las posibles alternativas
- ✓ Obliga a los participantes del proyecto a hablar en términos de “función” y “valor”.
- ✓ Ayuda a aclarar los objetivos del proyecto
- ✓ Identifica y da prioridad a los objetivos del cliente según su definición de valor
- ✓ Implementa las propuestas aceptadas dentro del diseño incrementando el valor del componente y en consecuencia de todo el proyecto
- ✓ Los resultados del estudio proveen retroalimentación

### **3.3.- Construcción**

Durante ésta fase la Ingeniería de Valor aún es posible mediante las propuestas de cambio en Ingeniería de Valor (VECP). Los contratistas pueden ser provistos de incentivos monetarios para proponer soluciones que ofrecen un elevado valor

al propietario, así como de un porcentaje en los beneficios financieros que se produzcan. Claramente el propietario debe considerar las propuestas hechas por parte del contratista cuidadosamente desde varias posibilidades y enfoques de negociación.

Los beneficios que se generan en la etapa de construcción serían meramente preventivos pues como se mencionaba en el capítulo anterior, en la etapa de construcción el ahorro potencial ya no es muy grande, sin embargo todo lo que pueda reducir el costo de un elemento, otorga una mejor posición económica en caso de que se lleguen a generar gastos por imprevistos (sanciones, días que no se pueda trabajar por el clima entre otros factores que afectan económicamente a la construcción de obras civiles).

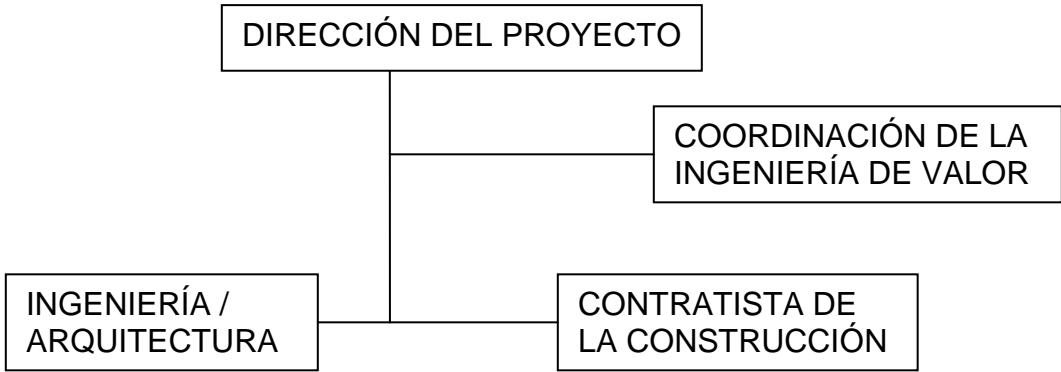
La evaluación de propuestas de cambio se trata como cualquier otro cambio durante la construcción, sin perder de vista los cambios que tendrá el programa de obra.

**3.4.- Esquemas posibles para llevar a cabo la Ingeniería de Valor**

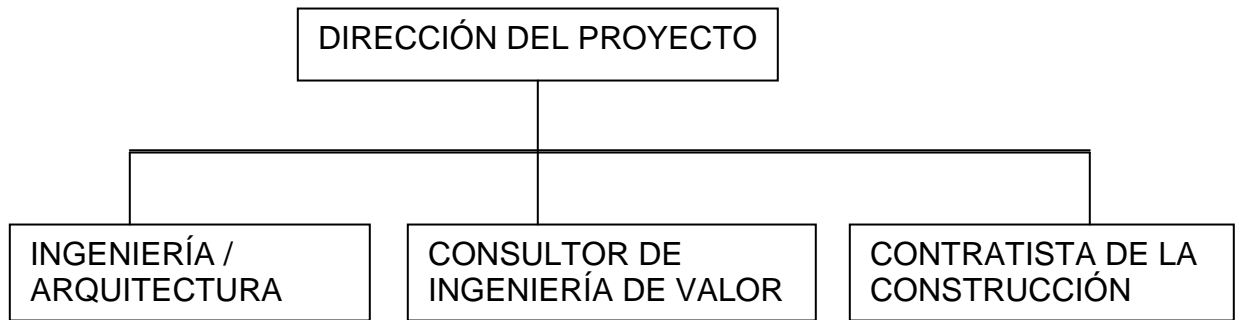
Se puede proponer una estructura organizacional en la que se podría dar la ingeniería del valor en el sector privado. Cabe mencionar que la Ingeniería de Valor también se puede adaptar al sector público, lo cual se abordará posteriormente.

En el sector privado la Ingeniería de Valor puede acomodarse de tres maneras distintas, éstas se representan en los siguientes esquemas:

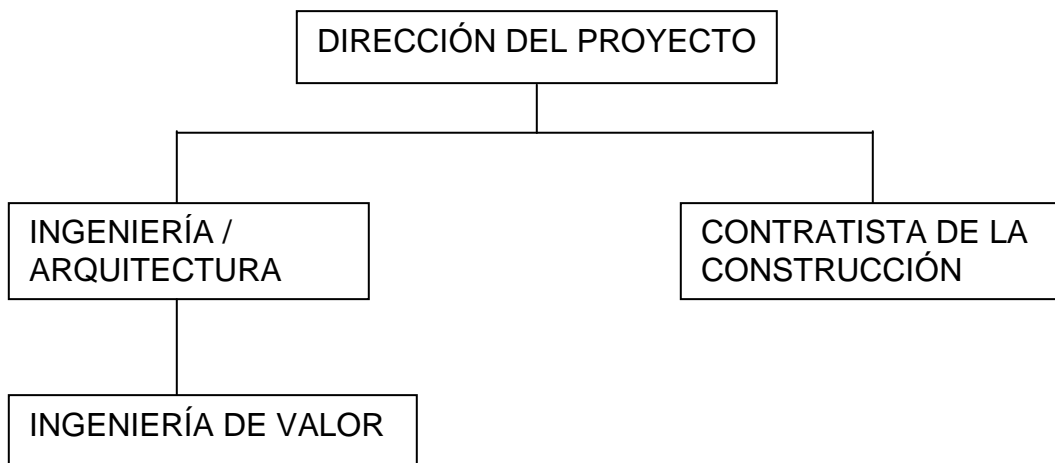
Caso 1



Caso 2



Caso 3



En el sector público, la única forma en que la Ingeniería de Valor puede tener lugar sería realizando el estudio para proyectos que se encuentren en alguna cartera de proyectos y que ya tengan un costo. De manera que la Ingeniería de Valor podría generar más empleos para ingenieros con los ahorros generados en los proyectos.

## Fuentes

- *Techniques of Value Analysis and Engineering*, 3rd ed. por L.D. Miles. New York, NY: McGraw-Hill, 1972.
- "The Dread of VE: Understanding Why It's Not Used More" in *Value World* by Scot McClintock. Vol. 11, No. 4, Jan./Feb./Mar. 1989, pp. 12-14.
- *Value Engineering: Practical Applications for Design, Construction, Maintenance, & Operations* by Alphonse J. Dell'Isola. Kingston, MA: R.S. Means Company, Inc., 1999.
- *Value Engineering Theory, Revised Edition* by Donald E. Parker. Washington, DC: The Lawrence D. Miles Value Foundation, 1995.
- [Value: Its Measurement, Design, and Management](#) by M. Larry Shillito and David J. De Marle. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc., 1992.
- *Value Management Practice* by Michel Thiry. Sylva, NC: Project Management Institute, 1997.

#### 4.- Uso de la IV en el campo de la ingeniería civil

Este capítulo tiene por objetivo realizar una comparación entre soluciones ingenieriles para poder mostrar la reducción de costos en componentes importantes de las obras civiles.

En el ámbito de la ingeniería civil hay un sin fin de problemas que requieren una solución; estos problemas deben contar con la atención de especialistas en diferentes áreas, para poder obtener soluciones efectivas en cuanto a costo y tiempo de servicio de la misma. Con la forma de pensar de la ingeniería del valor podemos adentrarnos en el problema y sustituir una solución dada por otra menos costosa.

Para poder justificar el uso de la Ingeniería de Valor en la ingeniería civil mexicana ya hemos acudido al capítulo 3 de este trabajo de tesis que lleva por nombre “Áreas de oportunidad para reducir costos en proyectos”. Sin embargo, aparte de esa breve explicación también podemos mencionar las principales formas usuales de pensar del ingeniero y cómo estas podrían cambiar con la Ingeniería de Valor. A continuación se presenta una tabla que contiene algunas formas usuales de pensar en los proyectos de ingeniería del lado izquierdo y la forma en que se piensa con la ingeniería del valor.

<b>Pensamiento tradicional en la implementación de soluciones ingenieriles</b>	<b>Pensamiento de la Ingeniería de Valor en la implementación de soluciones ingenieriles</b>
Al planear una obra de ingeniería sólo se piensa en la inversión inicial	Con la ingeniería del valor también se evalúan los resultados a largo plazo, es decir, los ahorros de ciclo de vida del proyecto (Life-cycle costs)
Se realizan iteraciones de soluciones a manera de obtener la más adecuada para un problema dado	Se realizan las mismas iteraciones con la finalidad de obtener un <b>catálogo de soluciones</b> posibles. Anticipándose a problemas potenciales de construcción.
Se busca que el proyecto general tenga el costo menor que cumpla con las condiciones de servicio requeridas	Reduce el costo de diversos componentes para poder reasignar el porcentaje de la inversión a elementos que generarán mejoras en el servicio y ahorros de ciclo de vida de proyecto.

Se pueden mencionar soluciones alternativas de un estudio de Ingeniería de Valor que podrían generar una reducción de costo importante para los siguientes proyectos de ingeniería:

1. Obras hidráulicas (el caso del CCR y el concreto con revenimiento)
2. Carreteras (el caso del concreto y el asfalto)
3. Puentes (pasos peatonales: muros de contención y tierra armada)

Recordemos que en el capítulo 2 “*Descripción de la metodología*” se hizo mención de la regla de Pareto, la cual retomaremos para este capítulo con el fin de justificar que el 20 % de los componentes de una obra son los más importantes porque forman el 80 % de los ahorros totales. Es decir, si sustituimos el 20 % de las soluciones ingenieriles (más relevantes en cuanto a costo) por otras menos costosas y que cumplan con los mismos requerimientos (solicitaciones) obtendremos el 80% del ahorro total debido a la ingeniería del valor. Y esta sería una buena metodología para verificar si el estudio de valor implicará una reducción de costos significativa y qué reducción de costos aproximada debemos esperar.

#### **4.1.- Ingeniería de Valor en obras hidráulicas**

Cuando se proyectan las obras hidráulicas hay una infinidad de cosas que se prestan para realizar un estudio de valor e incluso se podría decir que la elaboración del proyecto requiere de la misma metodología para realizarlo que el plan de trabajo de Ingeniería de Valor pues se requiere de las soluciones más económicas, que resulten efectivas en cuanto a su función, que sigan siendo seguras y también contar con una serie de alternativas para prever cambios futuros en el proyecto. A partir de que se tiene la certidumbre total de que el proyecto no va a cambiar se puede elaborar un estudio de Ingeniería de Valor y de ninguna manera antes. Por la naturaleza de las obras hidráulicas se presentan muchos cambios importantes en el proyecto (se presentan fallas geológicas, el suelo no resulta lo que se esperaba, podría darse una reorientación de la cortina, cambios en la obra de excedencia, cambios en la obra de desvío, etc.) y cada uno de esos cambios representa un cambio igual de importante en el costo. Debido a ello se dificulta realizar el estudio de valor para una componente hasta que se detengan las iteraciones de diseño.

El uso de la Ingeniería de Valor en las obras hidráulicas ayudará a crear una conveniente cartera de soluciones más económicas que las propuestas. Posteriormente se podrá utilizar ese ahorro de manera estratégica para futuros problemas que puedan encarecer el proyecto o se podrá invertir en nuevos elementos que puedan generar un ahorro de costo de ciclo de vida del proyecto.

La principal componente donde podríamos realizar la Ingeniería de Valor es la cortina ya que podemos hacer uso de distintos materiales. Debido a lo anterior se expondrá un caso común para **ejemplificar** cómo se podría tomar una decisión que sea Ingeniería de Valor.



#### 4.1.1.- Comparación del concreto compactado con rodillo (CCR) y el concreto convencional

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) se define como "Un concreto de consistencia seca, asiento nulo, que se coloca de forma continua y su compactación se realiza con un rodillo normalmente vibratorio".

En caso de construir cortina de materiales cementados, después de todo un análisis económico y funcional, podemos optar por el concreto compactado con rodillo en vez de utilizar concreto convencional. A continuación se presenta una tabla con la correspondiente comparación.

<b>Concreto colocado con medios vibratorios</b>	<b>Concreto compactado con rodillo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Requiere uso de cimbra</li> <li>○ Requiere más agua para obtener la trabajabilidad adecuada</li> <li>○ Debido a la altura de la cortina podría requerirse revenimiento mayor a 14 cm para poder ser bombeado</li> <li>○ El aumentar el revenimiento exige más agua, al aumentar la cantidad de agua se requiere más cemento y al hacer esto último aumenta el costo del material</li> <li>○ Realización de excavaciones en laderas para sujeción de blondines o torres grúa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mayor ritmo de construcción (puede llegar a 2- 2'5 m cada semana);</li> <li>○ Utilización a gran escala de equipos convencionales (dumpers, bulldozers, rodillos);</li> <li>○ Como consecuencia de lo anterior, un costo más reducido;</li> <li>○ Extensión por capas de espesor reducido, por lo que se aumenta la seguridad de la obra, al disminuir los desniveles.</li> <li>○ Menor impacto ambiental, al no precisar realizarse excavaciones en las laderas para los blondines o torres grúa</li> <li>○ Una mezcla de concreto sin segregación.</li> <li>○ Rápida colocación de grandes volúmenes.</li> <li>○ Menor número de juntas.</li> <li>○ Menor número de horas-hombre.</li> <li>○ Menor permeabilidad en el concreto</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ No requiere cimbra de ningún tipo.</li> <li>○ No requiere acero de refuerzo.</li> <li>○ Costo por mano de obra y tiempos de ejecución podrían ser menores dependiendo el proyecto.</li> </ul>
--	--

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es probablemente el más importante desarrollo en la tecnología de presas en los últimos años, ganando aceptación alrededor del mundo en un relativo corto tiempo debido a su bajo costo, el cual es derivado en parte por su rápido modo de construcción.

Con lo anterior se muestra un ejemplo de cómo podemos sustituir una solución con otra más económica (en términos de costo de ciclo de vida), igual de segura y funcional, sin embargo, debemos mencionar que estas ventajas técnicas no siempre prevalecen; dependen de muchos factores que varían en cada proyecto (esta es la razón por la que se siguen usando los dos).

#### **4.2.- Ingeniería del valor en vías terrestres**

Cuando se elabora un proyecto de carreteras es importante realizar un estudio de Ingeniería de Valor en la sección transversal de la misma, la justificación de la aseveración anterior es que las carreteras constan de una longitud extraordinaria y cualquier cambio en la sección transversal, en los taludes, en las cunetas, guarniciones y parapetos, etc. provocarán un cambio importante en el costo de la misma. Es importante realizar este tipo de estudio en sus principales componentes (estructura de pavimento, taludes, cunetas, guarniciones, parapetos, señalizaciones, entronques, etc.) ya que de manera estratégica podemos reducir costos en algunos componentes para poder aumentarlos en otros de forma estratégica que puedan generar ahorros en los costos de ciclo de vida del proyecto.

Particularmente podemos estudiar la estructura de pavimento pues una solución alternativa posible y muy importante es el pavimento de concreto hidráulico.

##### **4.2.1.- Comparación del concreto hidráulico y el asfalto**

Esta comparación nos permitirá ver la competitividad que existe entre estos dos materiales funcionando como solución en vías terrestres.

Cabe mencionar que en este tipo de proyectos la ingeniería del valor se apoya principalmente en el concepto de costo de ciclo de vida del proyecto que se compone por los siguientes rubros:

- a) Costos de construcción inicial – Costo total del proyecto al momento de su inauguración
- b) Costos de conservación – Reparaciones, rehabilitaciones, ampliaciones y modernizaciones.
- c) Costos del usuario – Operación de los vehículos, consumo de combustible, composturas, tiempos de recorrido y accidentes.

Es decir, es conveniente ver un proyecto de vías terrestres no sólo por su inversión inicial sino además por todos los costos que se le asocian durante su tiempo de servicio, puesto que en un camino por el que circule una cantidad considerable de vehículos diarios, los costos de operación serán mayores que la suma de los costos de construcción inicial y de conservación durante su vida útil.

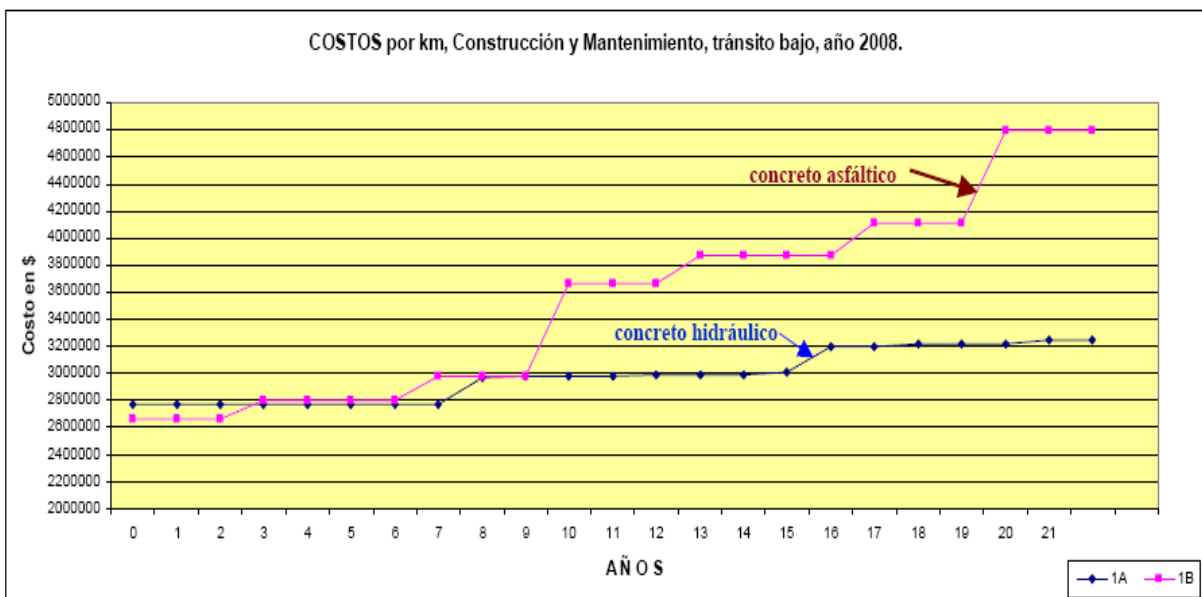
A continuación se presenta una tabla con la correspondiente comparación.

<b>Pavimento asfáltico</b>	<b>Pavimento de concreto hidráulico</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Superficie deformable; transmite los esfuerzos de forma concentrada (Fig.4.1)</li> <li>○ Se deteriora con el tiempo</li> <li>○ Requiere reparaciones y recarpeteos constantes</li> <li>○ Durabilidad promedio de 12.5 años</li> <li>○ Alto costo de mantenimiento</li> <li>○ Mientras más largo sea el ciclo de vida del proyecto el costo de esta solución será mayor que el uso del concreto hidráulico.</li> <li>○ Se deforma su superficie ofreciendo un manejo irregular, o bajo índice de servicio.</li> <li>○ El costo de construcción inicial (\$500 por metro cuadrado aproximadamente), es un 20% más bajo que el del concreto hidráulico, lo cual es una diferencia significativa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Superficie rígida, transmite los esfuerzos a la estructura de terracería de forma uniforme por lo que el comportamiento de la estructura de terracería es más adecuado(Fig.4.1)</li> <li>○ Durabilidad de 20 a 30 años</li> <li>○ El costo promedio por metro cuadrado de pavimentación de concreto es de \$650.00 aproximadamente (20% más de lo que cuesta el asfalto)</li> <li>○ Considerando una relación costo/tiempo de servicio podemos decir que el costo de ciclo de vida es menor que el del asfalto</li> <li>○ Presenta problemas cuando no se le da el mantenimiento adecuado o cuando las condiciones del suelo (flujo de agua) no son las más adecuadas, ya que esto ocasiona deformaciones en el terreno y en consecuencia se presentan roturas en el concreto.</li> <li>○ El concreto gana hasta un 10% de resistencia después del primer mes</li> </ul>

- El asfalto se reblandece por temperatura

- También existe un ahorro en los costos del usuario, ya que puede generarse hasta un 20% en ahorro de combustible al transitar por este tipo de pavimentos, sin embargo, también se aumenta el riesgo de accidentes por somnolencia.

Como podemos ver, el concreto hidráulico podría no ser conveniente si no se tienen las condiciones adecuadas o si lo que importa es sólo la inversión inicial. Sin embargo, de existir las condiciones adecuadas la ventaja que tiene esta solución alternativa ante el asfalto se vuelve importante. Podemos esquematizar en la siguiente gráfica la variación del costo respecto el ciclo de vida de proyecto.



Gráfica de: IMCYC

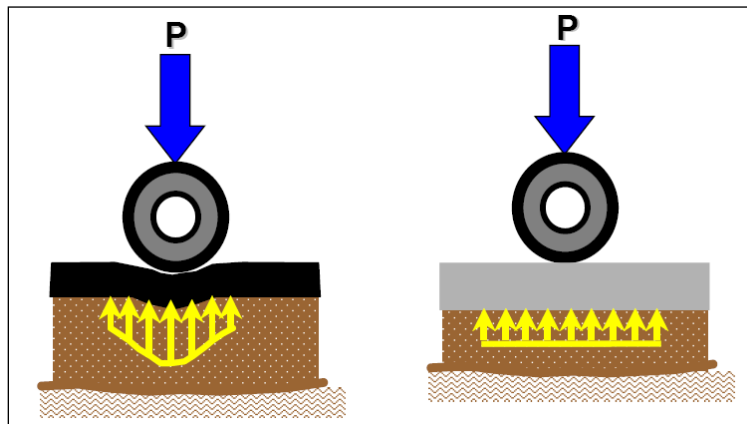


Fig. 4.1 Distribución de esfuerzos sobre una estructura de terracería con asfalto (izquierda) y concreto (derecha).

Imagen de: IMCYC

### 4.3.- Ingeniería de Valor en puentes

En un proyecto de puentes hay un sinnúmero de elementos a los que se les puede elaborar un estudio de Ingeniería de Valor, ya que las decisiones que se pueden tomar van desde el tipo de cimentación, hasta los elementos que conforman la superestructura y los acabados.

Uno de estos componentes podría ser la subestructura, la cual tomaremos para ejemplificar el uso de la Ingeniería de Valor.

#### 4.3.1.- Comparación de tierra armada con cargaderos y estribos de concreto

“Armaduras dispuestas a intervalos iguales en un terraplén, confinan los granos de tierra entre sí gracias a su fricción. El terraplén reforzado de esta manera, se convierte en su propia estructura de soporte. Un paramento ligero de revestimiento con elementos prefabricados es suficiente para darle a la obra su aspecto externo”

(Tierra armada, Freyssinet de México S.A. de C.V.)

La tierra armada consiste en la construcción de un terraplén por capas entre las cuales se coloca un armado de tal manera que modifique las propiedades mecánicas del suelo para auto soportarse; este armado puede ser de acero o de materiales geosintéticos. En el caso de un puente, esta tecnología es capaz de sustituir el estribo de concreto.

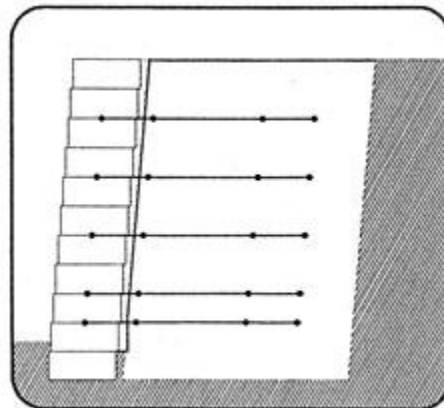


Fig.4.2 Terraplén con la tecnología “tierra armada”. El muro de la izquierda es un paramento que le brinda aspecto y que no trabaja estructuralmente. *Imagen de: [www.terraforce.com](http://www.terraforce.com)*

La comparación de estribo de tierra armada y cargaderos con un estribo de concreto se presenta en la siguiente tabla:

<b>Estribo de concreto</b>	<b>Tierra armada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Requiere de excavación para la cimentación; ésta varía dependiendo del tipo de estructura que se trate así como del tipo de suelo.</li> <li>○ Requiere de grandes cantidades de concreto</li> <li>○ Los empujes laterales del suelo sobre el estribo robustecen las dimensiones del mismo, lo cual encarece la obra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ El uso de geosintéticos como armaduras intermedias en el relleno del terraplén puede significar ahorros importantes en el costo del estribo. Lo mismo con el acero aunque evidentemente el ahorro sería menor.</li> <li>○ Continúa cumpliendo las funciones esenciales (recibir la carga de las traveses, evitar el cono de derrame, brindar seguridad durante y después de su construcción, etc.)</li> <li>○ El paramento, aunque no trabaja estructuralmente puede evitar la erosión del material y brindar un buen aspecto. Además de que sus piezas son prefabricadas y su periodo de instalación es fácil de programar</li> <li>○ No requiere andamios ni excavación profunda</li> <li>○ Mayor vida útil en servicio</li> <li>○ Disminución de esfuerzos transmitidos al terreno, lo que permite realizar estructuras en terrenos de baja resistencia</li> </ul>

### **Referencias**

- International RCC Dams Seminar, 6 a 17 de septiembre de 1998, Denver, EUA.
- Alonso Franco, M., J. Yagüe y L. Berga, «RCC dams in Spain»
- Instituto Mexicano del cemento y el concreto A.C. - *“Diseño de mezclas de concreto compactado con rodillo, utilizando conceptos de compactación de suelos”* (Ing. Miriam R. Escalaya Advíncula, Dr. Jorge E. Alva Hurtado)
- American Concrete Institute. "Roller-Compacted Mass Concrete" (ACI 207.5R-99)
- Dirección de obras públicas, presidencia municipal de Chihuahua.

## **5.- Condiciones ideales para el aprovechamiento de la Ingeniería de Valor en México**

El objetivo de este capítulo es presentar una esquematización de las condiciones propicias para la introducción del estudio de valor como factor relevante en los proyectos de ingeniería civil en México, lo cual implica plantear una estrategia para poder tomar en cuenta esta propuesta.

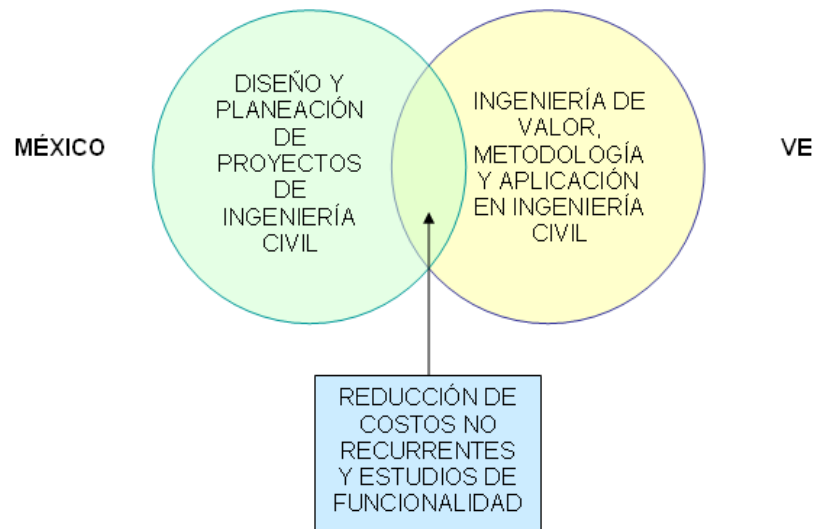
Es posible hacer un estudio de Ingeniería de Valor bajo diversos enfoques y diferentes etapas de un proyecto, desde la planeación hasta su construcción, los campos de oportunidad ya han sido expuestos en el capítulo 3, en donde se menciona la importancia que tiene este tipo de estudio y que beneficios podrían aportar en cada una de las etapas de un proyecto de ingeniería, sin embargo, ahora es necesario responder a la pregunta ¿cómo se pueden generar esos ahorros? En este capítulo se identificarán las condiciones bajo las cuales se podría introducir la Ingeniería de Valor, ya sea como herramienta de una organización dedicada a integrar proyectos o como actividad independiente.

### **5.1.- Características de la industria de la construcción**

Actualmente, en la industria de la construcción, aunque se llevan a la práctica muchas de las técnicas de Ingeniería de Valor (análisis económicos a nivel anteproyecto, estudios energéticos, análisis financiero de proyecto, métodos de reducción de costos, etc.), éstas son sólo algunas técnicas complementarias para la toma de decisiones en el diseño de obras de infraestructura (ver figura 5.1). De ello resulta un enfoque que tiende a optimizar los costos generales de construcción, sin tomar la correcta consideración de la función final y los costos totales del proyecto (costos de ciclo de vida), incluyendo los costos de usuario, de mantenimiento y operativos; este enfoque busca sólo aliviar el flujo de efectivo en la etapa de inversión, pero no aborda el costo integral.

Lo anterior puede ser corroborado al observar los términos de referencia elaborados por organismos gubernamentales para diferentes tipos de proyectos en México, como ejemplo, se citan los términos de referencia para proyectos de puentes en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, donde se puede observar que los proyectos son aceptados sin apegarse a algún tipo de lineamiento de optimización del costo, ni de incremento de valor. Siendo esta la

única documentación comprobable que respalda el hecho de que no se realiza un estudio ex profeso para el incremento de valor en el diseño de los proyectos de ingeniería.



*Fig. 5.1 – Esquema de aplicación de ingeniería actual en México*

En general se trata de una industria que presenta cierta resistencia a la implementación de nuevas ideas con distinto enfoque, o bien, que no siguen el esquema tradicional de trabajo y solución de problemas; no obstante, los resultados de su implementación podrían ser satisfactorios. Más aún, la industria de la construcción está orientada en su mayor parte a la inversión inicial por lo que resulta difícil la implementación de un plan de trabajo completo de Ingeniería de Valor, ya que ello requiere recursos (tiempo y costo adicional), pues los ahorros probablemente sean recibidos por otros responsables del proyecto, aquellos que participan en la etapa de operación, mientras que eventuales mayores inversiones iniciales serían responsabilidad del que debe tomar la decisión de aplicar la Ingeniería del Valor. Lo anterior tiene como consecuencia directa un panorama no fácil para introducir la Ingeniería de Valor en México.

La Ingeniería de Valor debe hacerse antes de la construcción de un proyecto ya que siendo así podemos generar ahorros importantes que además de justificar el estudio, puede reducir los costos generales del proyecto. En el capítulo anterior se definió como costo total del proyecto a la inversión inicial y los costos de ciclo de vida que a su vez encierran tres tipos de costo fundamentales en las obras de ingeniería civil:

1. costo de implementación
2. costo de mantenimiento y
3. costo de usuario



Otro aspecto importante de la industria de la construcción en México es la estructura organizacional bajo la cual se pueden desarrollar todos los proyectos de ingeniería; dicha estructura varía dependiendo del tipo de proyecto que se trate. Como ejemplo se menciona nuevamente la estructura organizacional bajo la cual se elaboran los proyectos de puentes carreteros.

El organismo principal es aquel que está interesado en que los puentes se hagan y tiene recursos humanos y económicos para llevar dicha empresa a cabo. En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es un organismo de dicho tipo y para fines de incremento de valor en obra civil, es éste organismo un punto clave para poder implementar la Ingeniería de Valor.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes a su vez, obtiene dichos recursos económicos de un organismo administrador: Secretaría de Hacienda y Crédito Público, siendo estas dos la gerencia más alta en el organigrama que compete al desarrollo de éste capítulo.

Cabe mencionar que para otros proyectos de ingeniería civil, cambia el organismo con los recursos económicos para llevarlos a cabo; en el caso de proyectos de puentes, la SCT es el principal organismo (no siendo éste el único, pues también se puede hablar de la iniciativa privada) que tiene la capacidad para hacerlos, sin embargo, análogamente CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) resulta tener el mismo papel para obras hidráulicas, como otras organizaciones gubernamentales, dependiendo el tipo de proyecto que se trate.

Si se considera que tanto el sector gubernamental como la iniciativa privada ocupa un lugar importante en la realización de proyectos de ingeniería civil, entonces hay que tomar en cuenta aspectos de recursos humanos que permitan la introducción de un plan de trabajo en el conjunto de actividades del gobierno y las empresas. O bien la realización de proyectos de Ingeniería de Valor como actividad independiente.

Desde el punto de vista organizacional se identifican dos diferentes esquemas que deben ser citados para fines de reconocimiento de las condiciones a las que se ve sujeta la introducción de la Ingeniería de Valor, con sus respectivas características.

### **5.1.1.-Sector privado**

La empresa privada en México también forma parte de la gerencia más alta, pues de acuerdo con la definición de gerencia más alta, tiene los recursos humanos y financieros para realizar proyectos de ingeniería. En general hablamos de un sector de la industria que es reactivo, es decir, que toma decisiones en función de muchos factores (principalmente económicos) externos a él. Dichas decisiones, son tales como: planes de mantenimiento a la obra civil, trabajos de inspección, construcción de nuevos proyectos, modificación de los proyectos existentes, etc.

Existe por parte del sector privado una dependencia de éste hacia el sector público, pues es éste último quien provee recursos para llevar a cabo los diversos tipos de proyectos, quien fija las fechas límite y quien concursa los proyectos, por lo que el sector privado también resulta ser un participante pasivo en el proceso, pues, al no tener interés primario en abatir los costos iniciales, antes más opera en contra de sus intereses y no está dispuesto a dedicar tiempo para desarrollar la creatividad en los proyectos.

### **5.1.2.-Sector público**

Por su parte, el sector público tiene objetivos políticos, es la gerencia más alta por tratarse (los proyectos de ingeniería) de obra pública y cuenta con los recursos financieros necesarios para llevarlos a cabo; es decir, es el dueño del proyecto y quien más interés debiera tener por ahorros totales. Sin embargo, también se trata de un sector que requiere gran cantidad de recursos humanos y es en éste punto donde se presenta el enlace con la iniciativa privada cuando se trata de proyectos de infraestructura.

### **5.2.- Introducción de la Ingeniería de Valor en las organizaciones**

Para llegar a resultados satisfactorios en el plan de trabajo de Ingeniería de Valor no se puede prescindir de diversos elementos que ayudarán a que la información obtenida de este tipo de análisis sea certera y precisa. Por parte de la organización los principales elementos se enlistan a continuación:

*Proyectos completos:* al iniciar el análisis de valor se debe contar con el proyecto finalizado, para ahorrar tiempo en iteraciones futuras.

*Estudios oportunos:* la información con que se cuente al iniciar el plan de trabajo debe ser certera y con estudios suficientes.

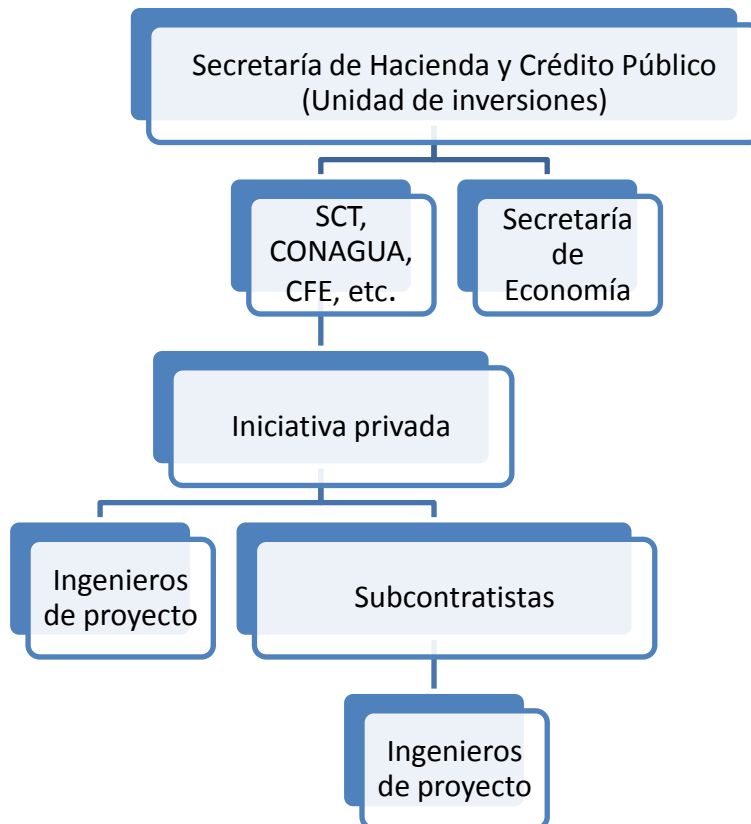
*Gerencia convencida:* Debe de haber una convicción por parte de la alta gerencia (aquella que otorga los recursos, o bien, el cliente) para evitar restricciones en el análisis.

Por parte de los profesionales, los principales elementos serían:

*Proyectistas con mente abierta:* El análisis de valor no es una crítica hacia el trabajo del proyectista, sino la pregunta: ¿Es lo más económico que este proyecto se puede lograr?

*Especialistas en Ingeniería de Valor:* debe haber un profesional capacitado para la supervisión de resultados, de manera que cada área de trabajo cuente con información suficiente y entregue en tiempo la información solicitada.

Un programa de Ingeniería de Valor como tal, servirá para aumentar los esfuerzos existentes y dar un vistazo “fresco” al diseño, usando un enfoque de trabajo en equipo que trabaja en una “atmósfera creativa”. Este esfuerzo adicional puede limitar la estructura organizacional y también poner a prueba los elementos que representan un alto costo desarrollados por diversas áreas o disciplinas involucradas (mecánica de suelos, estructuras, hidráulica, etc.). Existe un potencial de ahorro significativo a través de este enfoque, pues mediante la revisión del 20 % de las componentes más costosas del proyecto se especula que se obtendrá aproximadamente el 80 % de los ahorros (de acuerdo con lo escrito en el capítulo 2 al aplicar la teoría de Pareto).



*Fig. 5.2 Esquema de organismos principales y subordinados comúnmente planteado para proyecto de obra pública.*

El prerrequisito para establecer un programa de trabajo de la Ingeniería de Valor es tener la convicción de realizarlo por parte de la parte superior de la estructura organizacional (la más alta gerencia) pues ellos son los responsables de obtener los recursos necesarios para realizar la labor, tanto humanos como financieros. Debe existir también una aceptación por parte del personal operativo para poder,

en un segundo plano cambiar el pensamiento que se opone a los beneficios que esto conlleva y que se encuentra en la parte media del esquema organizacional (ver Fig. 5.3). Lo anterior conduce a que por una parte es necesario que se quiera hacer la Ingeniería de Valor por parte de las empresas (puesto que la más alta gerencia está convencida de ello) y por otra parte que el personal operativo esté capacitado.



*Fig. 5.3 Esquema ideal para introducir la Ingeniería de Valor a las organizaciones (en gris se muestran las partes que deben estar convencidas)*

*Alphonse J. Dell'isola (Value engineering in the construction industry) opina que, como regla general es posible decir que aquellas organizaciones que lleven a cabo un proyecto que cueste más de 10 millones de dólares deben concentrar esfuerzos para tener un programa de Ingeniería de Valor de tiempo completo. Organizaciones más pequeñas deberían limitar su inversión en el estudio de valor para tener un programa a su tamaño. Por ejemplo, el estudio de valor podría aplicarse sólo a aquellos proyectos que puedan tener un impacto significativo en las labores de la organización. Se recomienda contar con los servicios de un consultor experimentado en Ingeniería de Valor. Esto ayudará a ser más eficientes en cuanto a costo en las decisiones que se tomen. Se recomienda también que la Ingeniería de Valor esté ligada directamente con los mayores niveles de la gestión de la organización ya que el equipo contaría con las siguientes ventajas:*

1. Será capaz de “saltarse” niveles de la estructura organizacional.
2. Será capaz de escuchar asesorías desde la gerencia y la correspondiente asistencia administrativa.
3. Tendría libertad de operación; los elementos fuera del diseño (por ejemplo, contratos) pueden ser manejados correctamente y las fechas límites de diseño no serían inmediatas.
4. Tendría acceso a fondos para el correcto desarrollo de las propuestas de cambio de Ingeniería de Valor.
5. Tendría una excelente comunicación con proveedores de materiales entre otras cosas, y debido a la posibilidad de poder saltar niveles organizacionales existe también un buen intercambio de información.
6. Estarían en una buena posición para monitorear adecuadamente asuntos contractuales

La mayoría de los especialistas en Ingeniería de Valor, piensan que posicionar el equipo de Ingeniería de Valor bajo una supervisión común, no es una buena idea. Tener la Ingeniería de Valor y el diseño bajo un mismo supervisor tiende a ser una restricción para el plan de trabajo, sin embargo, el posicionamiento seleccionado para el equipo no debe de estar tan desapegado de las principales áreas de trabajo como las de diseño y revisión.

La primera recomendación para aquellas organizaciones que incluyan en sus funciones la Ingeniería de Valor es reclutar a un supervisor; dicho supervisor debe ser un especialista en Ingeniería de Valor. La descripción del perfil del ingeniero de valor o especialista en valor al cual corresponden los principales deberes y responsabilidades se describe a continuación:

### **5.2.1.-Especialista en valor**

Es la autoridad del programa de Ingeniería de Valor. La Ingeniería de Valor es el esfuerzo organizado de revisar y analizar los aspectos técnicos tanto en el diseño como en la construcción de proyectos individuales seleccionados para poder proveer la función requerida al menor costo general, y que éstas sea consistente con aspectos de construcción, seguridad y mantenimiento. Las características de ingeniería de detalle del proyecto estarán plasmadas en el proyecto constructivo y no en el de valor. Un deber que va más allá de lo que al ingeniero de valor concierne es el fomentar una mayor conciencia en cuanto al costo inicial y el costo de ciclo de vida del proyecto dentro del personal de las áreas de diseño.

#### **5.2.1.1.- Principales responsabilidades del ingeniero de valor**

1. Tiene la responsabilidad de desarrollar e implementar los objetivos y métodos de Ingeniería de Valor para los programas de diseño y construcción. Aplica la metodología a las actividades que se llevan a cabo en la sede de la organización. Mantiene actualizados los requisitos

arquitectónicos e ingenieriles así como el estado de los programas de construcción, manteniendo una buena comunicación con el equipo de diseño.

2. Selecciona y asigna prioridades para la aplicación de Ingeniería de Valor basado en la magnitud de los ahorros potenciales. Participa en o monitorea los estudios de Ingeniería de Valor. Coordina la aplicación de estudios de Ingeniería de Valor con los gerentes de otras divisiones de la organización. Planea, lidera y participa en diversas actividades que facilitan el cambio de actitud en la organización.
3. Desarrolla y monitorea los cambios en el costo de ciclo de vida ligados al ahorro de energía y efectividad en cuanto a costos de operación. Busca la implementación de técnicas innovadoras para poner en marcha el programa de trabajo. Promueve el uso de Ingeniería de Valor a través del programa mediante la invitación a los contratistas a participar en él.
4. Desarrolla procedimientos para realizar sistemas de retroalimentación para reportar resultados de Ingeniería de Valor producida por la organización y las actividades de campo.
5. Visita otras organizaciones y otros sitios donde la Ingeniería de Valor está siendo implementada o podría ser aplicada. Observa los métodos y prácticas actuales para asegurarse de que estos anteriores son económicamente efectivos.

### **5.3.-La Ingeniería de Valor como actividad independiente**

Es posible también llevar a cabo un análisis de valor como actividad independiente, en donde una organización ofrece sus servicios a empresas que así lo requieran. Como ya se ha mencionado anteriormente, todas aquellas empresas que pretendan introducir la Ingeniería de Valor como disciplina adicional, cuyos proyectos no requieran de un equipo de tiempo completo para llevar a cabo un programa de trabajo de Ingeniería de Valor, podrán optar por apoyarse en una consultoría de Ingeniería de Valor cuyas obligaciones más importantes son las siguientes:

1. Elaborar un plan del trabajo del tamaño del proyecto en estudio: Se debe poner especial atención en el tamaño del proyecto y estimar un ahorro
2. Contactar a los especialistas necesarios para realizar un análisis certero de cada uno de las componentes del proyecto: su experiencia permitirá dar propuestas más económicas.
3. Reportar resultados a la empresa que contrata y discutir con sus representantes las nuevas propuestas: se debe realizar una revisión de las propuestas con los encargados del área de diseño.
4. Mantenerse al tanto de los tiempos límite: Se debe tener presente que la Ingeniería de Valor es un método que se desea implementar ante el cual

existe cierta apatía, por lo tanto, si se logra realizar las propuestas dentro de los tiempos señalados en el proyecto, dicha apatía se verá reducida.

Al igual que cuando se introduce la metodología como una disciplina en las organizaciones, es importante que se mantenga la aceptación por parte de los proyectistas para poder lograr efectividad en los resultados.

#### **5.4.- Algunas ideas para el diseño de una estrategia para introducir la Ingeniería de Valor en los proyectos civiles en México.**

Esta sección tiene como objetivo presentar la medida en que se aplica la Ingeniería de Valor en México y se propone una estrategia para poder introducir ésta metodología al ejercicio de la ingeniería civil. Para ello se determinarán las estrategias de convencimiento e implementación como sumandos de una estrategia global de aplicación de ingeniería del valor. Se debe atender cada una de las siguientes estrategias para poder implementar:

- Estrategia de divulgación, comunicación y convencimiento
- Estrategia de capacitación
- Estrategia de financiamiento e incentivos

##### **5.4.1.- Evidencia de aplicación de Ingeniería de Valor en México**

En México no hay evidencias de aplicación de ingeniería del valor en proyectos de obra civil, aún en programas de estudio de maestrías de ingeniería civil de distintas universidades (UNAM, IPN, ITESM, UAM, etc.) no se incluyen materias para análisis del valor.

Sin embargo, como ya se ha dicho anteriormente, la práctica de la ingeniería tiende a aplicar algunas técnicas que conciernen también a un análisis de valor, cumpliendo así algunos puntos del plan de trabajo de Ingeniería de Valor. En general estas técnicas aplicadas en México se dan por medio de reuniones iterativas proyectista-cliente en donde mediante un toma y daca de argumentos se puede llegar a una solución aceptable por el cliente, y el enfoque utilizado es el de reducción de costos. Dicha reducción de costos forma parte del incremento de valor, aunque no es la única manera de incrementarlo, pues si se observa la expresión de valor ( $\text{Valor} = \text{Función} / \text{Costo}$ ), las posibilidades para que éste crezca son las siguientes:

1. Aumentar la funcionalidad y mantener los costos de ciclo de vida
2. Aumentar la funcionalidad y el costo de ciclo de vida, aumentando el primero en mayor medida
3. Mantener la funcionalidad y reducir los costos de ciclo de vida y
4. Aumentar la funcionalidad y reducir el costo de ciclo de vida.

Al llevarse a cabo ésta iteración usualmente se asume que la solución seleccionada por el cliente es la mejor y cuenta con un costo aceptable, sin embargo, dicha afirmación es subjetiva, pues no se tiene un estudio que avale que, en efecto, la solución es óptima en cuanto a costo y funcionalidad; más aún, en los términos de referencia para la entrega de proyectos no existe ningún lineamiento que exija dicho estudio. Posteriormente se prosigue con la elaboración de un proyecto ejecutivo, el cual se lleva a cabo con cierta información y con determinada fecha límite.

#### **5.4.2.- Estrategia de divulgación, comunicación y convencimiento**

La estrategia consiste en convencer a la más alta gerencia (SCT, CONAGUA, CFE, etc.) de los beneficios que implica realizar este tipo de estudio a los proyectos de ingeniería civil, para lo cual, se tiene como ventaja la puesta en marcha del ejercicio de Ingeniería de Valor en otros países como Estados Unidos de Norteamérica, pues esto representa una evidencia empírica de los beneficios obtenidos con ingeniería del valor. Una vez obtenida la aprobación de estos organismos gubernamentales y teniendo en mano una presentación respetable de los resultados de la aplicación de la metodología se puede trabajar en conjunto para conseguir los recursos adicionales que ya se han mencionado con anterioridad: costo y tiempo. La presentación podría tener la siguiente secuencia:

1. Evidencia de aplicación en otros países
  - a. Beneficios sociales de la Ingeniería de Valor
  - b. Beneficios económicos de la Ingeniería de Valor
  - c. Comparación de producto sin Ingeniería de Valor y producto final con Ingeniería de Valor
  - d. Tiempo y costo de realización e implementación del proyecto
2. Evidencia de no aplicación en México
  - a. Características financieras de proyectos de ingeniería en México
  - b. Características financieras de proyectos de ingeniería en el extranjero
  - c. Similitud económica
3. Eficiencia y mejoras obtenidas con Ingeniería de Valor
  - a. Potencial de aplicación
  - b. Potencial de ahorro por sector
  - c. Tiempo de implementación
4. Resultados en otros países
5. Comparación antes de VE y después de VE en otros países.
6. Conclusiones

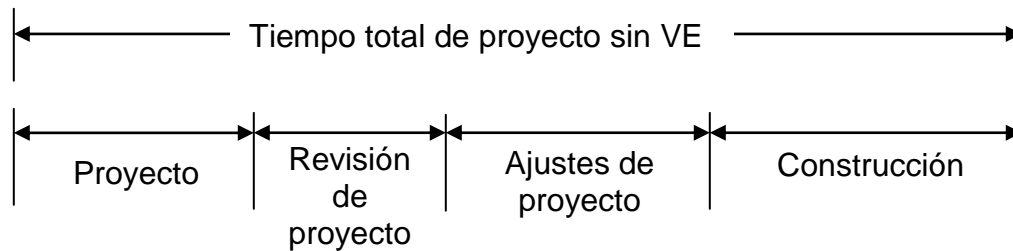
Es importante aclarar que el plan de trabajo de Ingeniería de Valor debe funcionar también como una revisión al proyecto, de manera que pueda ser aceptado lo antes posible por el cliente.

Parte de esta estrategia consiste en aplicar la Ingeniería de Valor desde el momento en que ya se tenga una idea definida del proyecto (o a partir de la

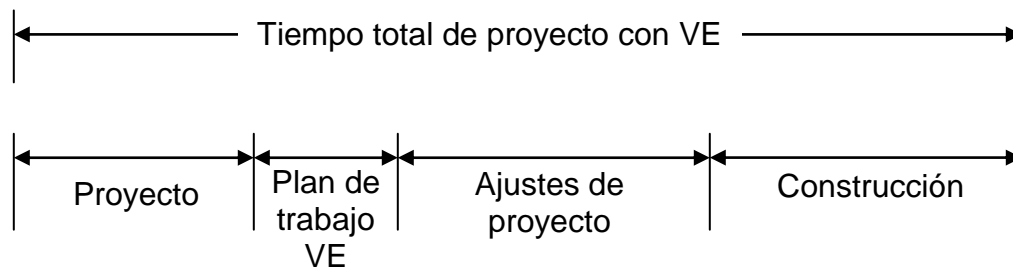


primera entrega del proyectista), de tal manera que el tiempo adicional que requiere hacer la ingeniería del valor no exceda la fecha límite. Esto implica que el equipo de Ingeniería de Valor funcione también para revisar el proyecto, habiendo comunicación entre éstos dos. Cabe remarcar que esto no altera las funciones del proyectista y al no ser una revisión común y corriente (ver figuras 5.4 y 5.5), sino un estudio de valor completo, conviene a los intereses del cliente.

Es necesario también reforzar la estrategia de difusión, lo cual se puede hacer formando una sociedad de ingenieros del valor, cuya labor sea difundir la metodología mediante artículos, conferencias y cursos. Lo cual ayudará a que, una vez comenzada la práctica de Ingeniería de Valor se le pueda dar continuidad.



*Fig. 5.4.- Tiempo de proyecto total sin realizar un estudio de Ingeniería de Valor.*



*Fig. 5.5.- Tiempo de proyecto total realizando ingeniería del valor*

### 5.4.3.- Estrategia de capacitación

Partiendo de la hipótesis de que los proyectos de ingeniería son mejor realizados cuando se usa la misma terminología, es necesario que los ingenieros de proyecto entiendan bien el procedimiento de Ingeniería de Valor, lo cual incluye comprender:

- qué es la ingeniería del valor,
- qué datos necesita el equipo de Ingeniería de Valor y
- cuál es la información que se obtiene de éste procedimiento.

Una vez hecho esto también se propone que los ingenieros proyectistas estén conscientes de los beneficios potenciales de la metodología y convencidos de que la Ingeniería de Valor funciona, para ello debe haber una capacitación de manera que el ingeniero proyectista pueda conocer el procedimiento de Ingeniería de Valor. Por otro lado también debe existir capacitación de ingenieros de valor, comenzando en las universidades cuyo perfil ya se ha mencionado en el punto 5.2.1 ésta puede venir de distintas organizaciones que son especialistas en formación y actualización de profesionales, como son principalmente las universidades que imparten la carrera de ingeniería civil. En los planes de estudio de programas de maestría, es posible incluir materias que permitan la enseñanza del método como herramienta de la gerencia de proyectos. Dichas materias, también pueden ser introducidas en los programas de maestría de cualquier rama de la ingeniería civil, pues el perfil de ingeniero de valor también debe adecuarse a cualquier proyecto, por ejemplo, el realizar un estudio de valor en la etapa de planeación de una presa derivadora, exige que el ingeniero de valor sea un ingeniero con conocimientos de hidrodinámica y para ello se requiere la capacitación de un especialista en obras hidráulicas que comprende el proyecto, pues su formación académica así lo permite.

La capacitación también puede proporcionarse mediante las organizaciones que impulsan el crecimiento de la industria de la construcción, como son: el Colegio de Ingenieros Civiles de México, la Cámara Mexicana de la industria de la Construcción, la Cámara Nacional de Empresas de Consultoría y aquellas organizaciones que cuenten con certificación de *SAVE international*<sup>1</sup>

#### **5.4.4.- Estrategia de financiamiento e incentivos**

Un argumento a favor de la metodología de Ingeniería de Valor es que ésta favorece a la industria de la construcción, ya que genera empleos, implementa la creatividad en el diseño, aumenta la funcionalidad de las componentes de los proyectos y beneficia a la sociedad. Es por ello que, implementar en México ésta metodología requiere del apoyo proveniente de las organizaciones que impulsan el crecimiento de la industria de la construcción, tales como el Colegio de Ingenieros Civiles de México (CICM) y la Cámara Mexicana de la industria de la Construcción (CMIC).

La clave para poder implementar la Ingeniería de Valor en los proyectos de ingeniería consiste en atribuir a este tipo de plan de trabajo dos puntos:

- Debe haber un incentivo para el propietario (en México, en general, es el Gobierno) por realizar este tipo de análisis a los proyectos, partiendo del supuesto de que el impacto económico es positivo, generando una cantidad de empleos y ahorros importantes.
- Se debe entender a la Ingeniería de Valor no solamente como una reducción de costos totales (costos de ciclo de vida) sino también como un aumento de calidad en el proyecto.

<sup>1</sup> Sociedad internacional dedicada a la promoción de la Ingeniería del Valor

Otro punto a tomar en cuenta es el incentivo que tendría el proyectista para otorgar todas las facilidades para que se realice la Ingeniería de Valor. Basándose en que el trabajo de ingeniería del valor tiene un costo proporcional al costo del proyecto, debe haber una negociación entre el cliente y el ingeniero de valor para determinar los beneficios para el equipo de Ingeniería de Valor, que naturalmente será un cierto porcentaje de los ahorros generados y se propone que a su vez, sea el equipo de Ingeniería de Valor quien incentive al equipo con el que esté colaborando, ya que esto permitirá ganar credibilidad en la aplicación del método y tener un proyecto elaborado con mayor agilidad.

## **Fuentes**

- *Dell'isola, Alphonse J. Value engineering in the construction industry, Third edition. Van Nostrand Reinhold Company, U.S.A. 1982.*

## **6.-Bosquejo de la aplicación de la Ingeniería de Valor en el diseño del puente “Las Lajas III”.**

El objetivo de este capítulo es mostrar la manera en que se podría aplicar la Ingeniería de Valor en un proyecto de un puente en su etapa de diseño. Para ello se mencionará la información necesaria para elaborar el plan de trabajo y algunas ideas a tomarse en cuenta durante su ejecución.

Es fundamental tener un proyecto o anteproyecto completo, pues como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, el estudio de valor resulta ser una iteración más, aunque esta vez, desde el punto de vida económico. Para este caso, al tratarse de un puente, se tomará un proyecto que ya esté completo en su diseño estructural de manera que pueda ser seccionado a grandes rasgos en los siguientes rubros:

### Superestructura

- Losas
- Trabes
- Diafragmas
- Elementos adicionales
- Dispositivos de apoyo

### Subestructura

- Pilas
- Estribos
- Caballetes
- Cimentaciones

### **6.1.- Descripción del proyecto**

El proyecto de este caso es un puente férreo que lleva por nombre “Las Lajas III”. Dicho puente, es parte de la vía férrea Cd. de México – Cd. Juárez (véase Fig. 6.2), facilitando la comunicación entre éstas dos ciudades y tendrá una longitud total de 70 metros, pasando por encima de un río. A continuación se describen sus componentes:

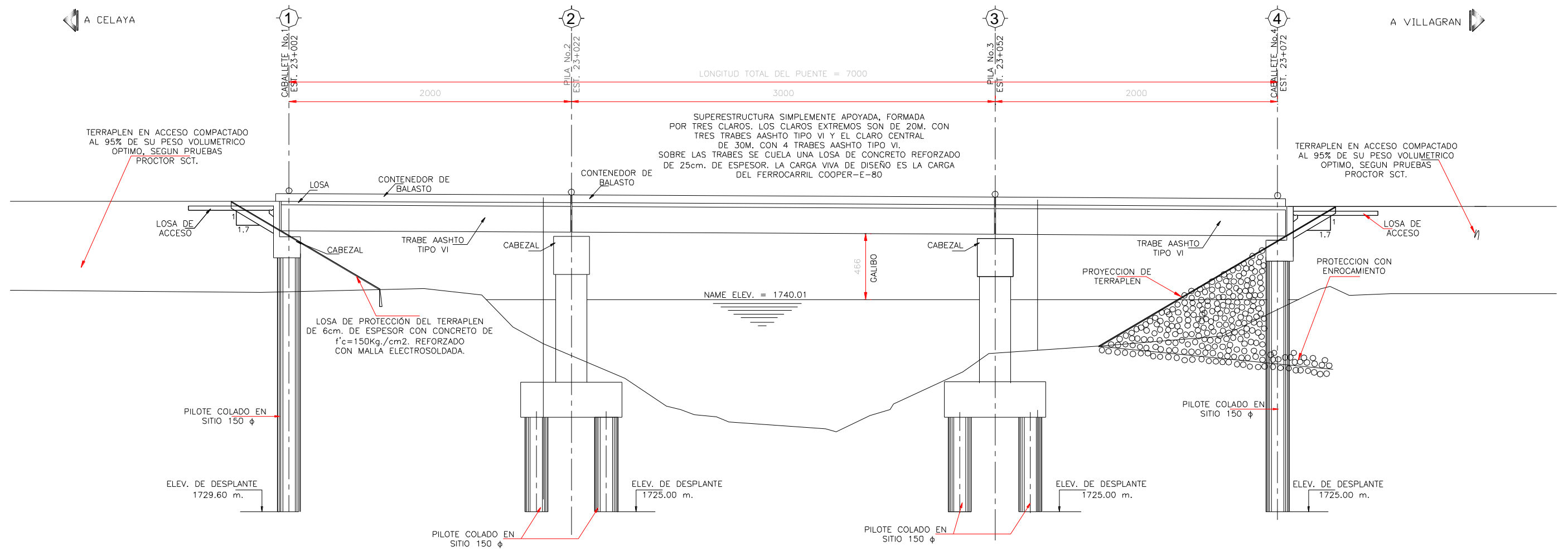


Fig.6.1. – Vista general del puente desde aguas arriba

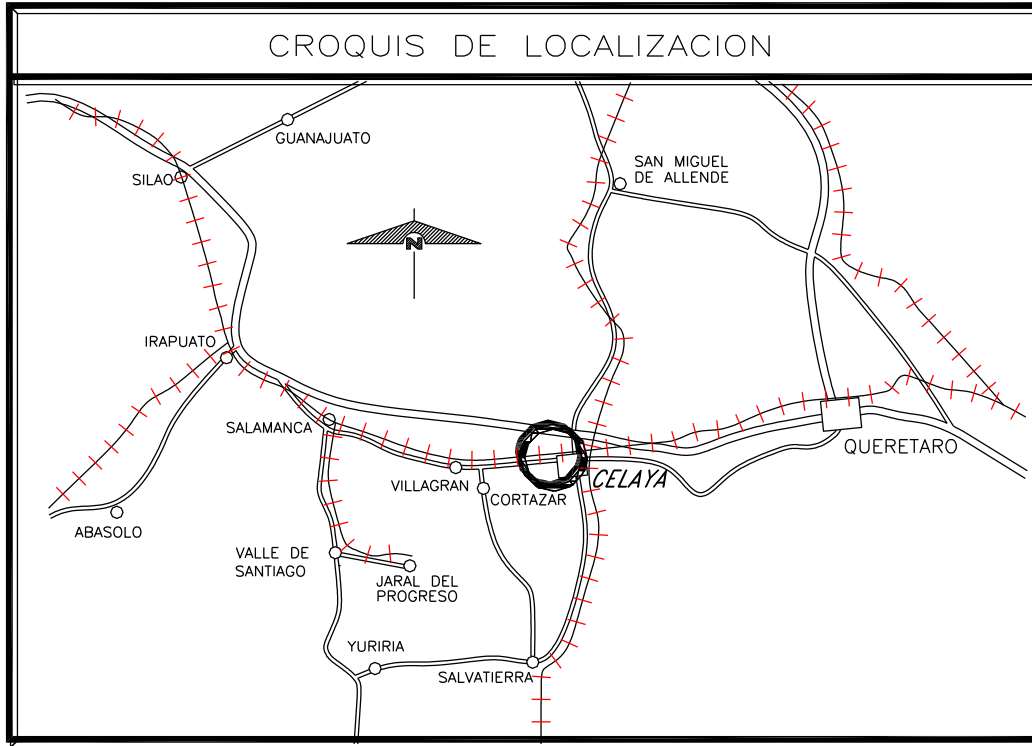


Fig. 6.2 – Ubicación del puente “Las Lajas III”

### 6.1.1-Superestructura

La superestructura está conformada por dos cuerpos de 4.9 metros de ancho, cada uno con un sistema de piso (trabes y losas) que salvan tres claros de 20, 30 y 20 metros sumando así una longitud de 70 metros. Estos dos cuerpos serán construidos en distintas etapas; uno de ellos será construido en el presente y el otro cuerpo será una ampliación en el futuro, por lo que el proyecto deberá contemplar todos los aspectos necesarios para facilitar su realización.

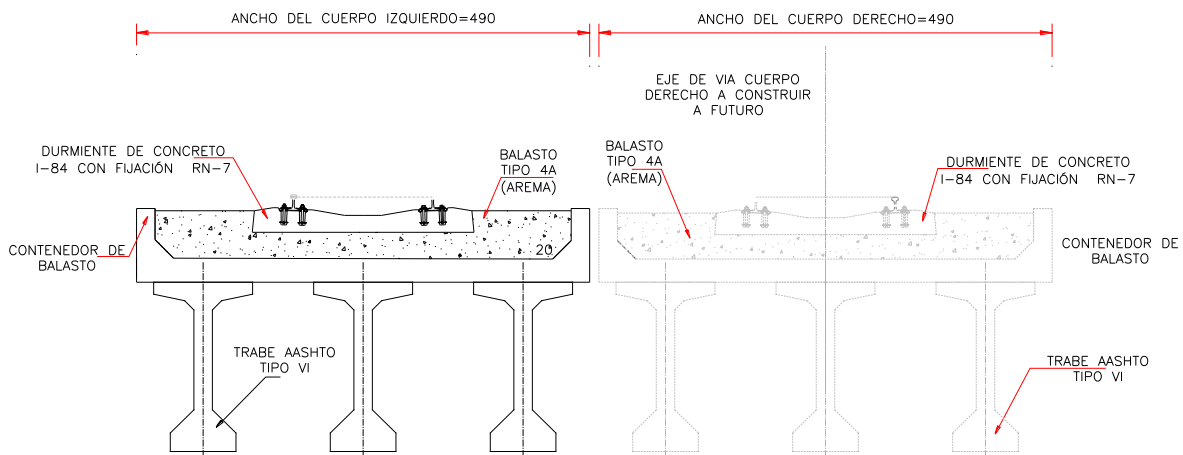


Fig.6.3. Sección transversal de la superestructura

### 6.1.1.1-Losas

La superestructura se resolvió con una losa de 25 cm de concreto reforzado que soporta una capa de material suelto (balasto tipo 4A según las normas AREMA<sup>1</sup>) de 50 cm que a su vez soporta los durmientes donde descansan las vías por las que circulará el ferrocarril.

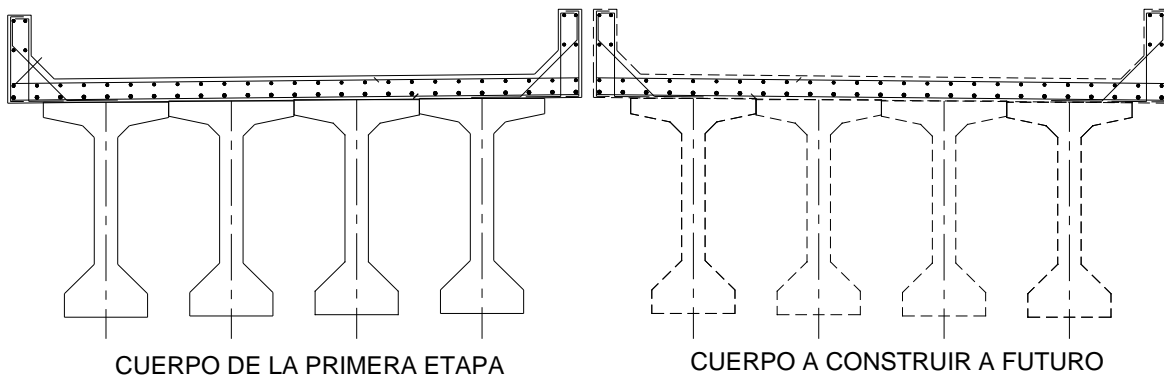


Fig.6.4 Esquema de losa para puente férreo (claro de 30 metros). Nótese que ésta está ligada a dos elementos verticales con el fin de contener el balasto.

### 6.1.1.2-Trabes

Se diseñaron trabes AASHTO tipo VI con sistema de pretensado. Los claros de 20 metros cuentan con 3 trabes presforzadas cuya separación entre sus ejes es de 1.73 metros. El claro de 30 metros fue resuelto con 4 trabes presforzadas AASHTO tipo VI cuya separación entre sus ejes es de 1.07 metros.

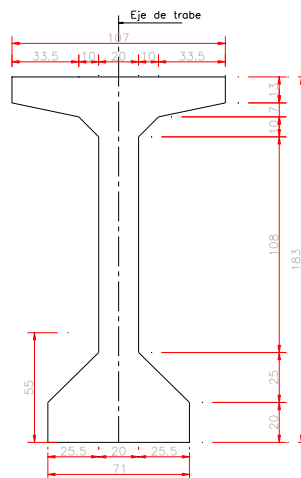


Fig.6.5. Trabe AASHTO VI. Puente “Las Lajas III”

<sup>1</sup> American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association (1999). Normatividad para diseño de vías ferroviarias

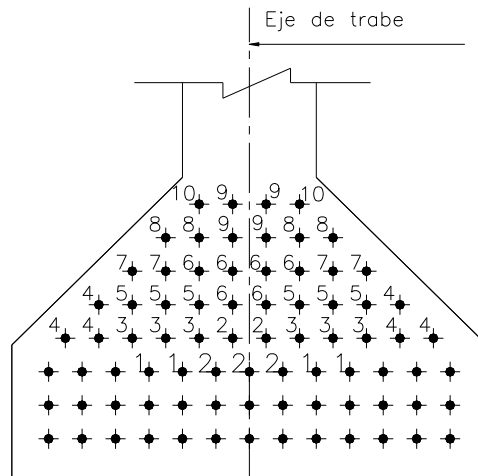


Fig.6.6. Torones de presfuerzo para trabe AASHTO VI. Puente “Las lajas III”

El presfuerzo de las traveses AASHTO VI varía dependiendo del claro del que se esté hablando; en el claro 1-2 y 3-4, se tienen 39 torones, produciendo una fuerza de presfuerzo inicial de 549 toneladas mientras que en el claro 2-3 el presfuerzo consta de 79 torones produciendo una fuerza pretensadora inicial de 1112 toneladas. El acomodo de los torones y sus números correspondientes para en ductarlos se muestra en la figura 6.6

### 6.1.1.3-Diafragmas

Se proyectaron diafragmas en la superestructura para uniformizar la carga en todas las traveses. La distancia en el sentido longitudinal entre los ejes de diafragma varía.

Dichos diafragmas son elementos de concreto armado de 30 centímetros de espesor; el croquis se puede ver en la figura 6.7 y 6.8

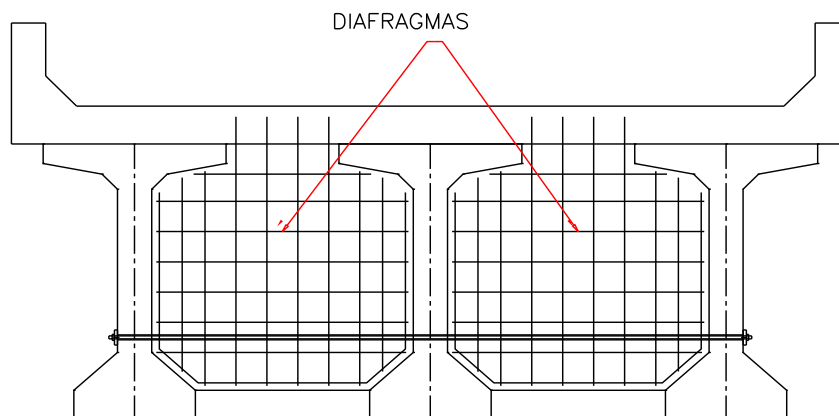


Fig.6.7 Croquis de diafragma en los claros 1-2 y 3-4



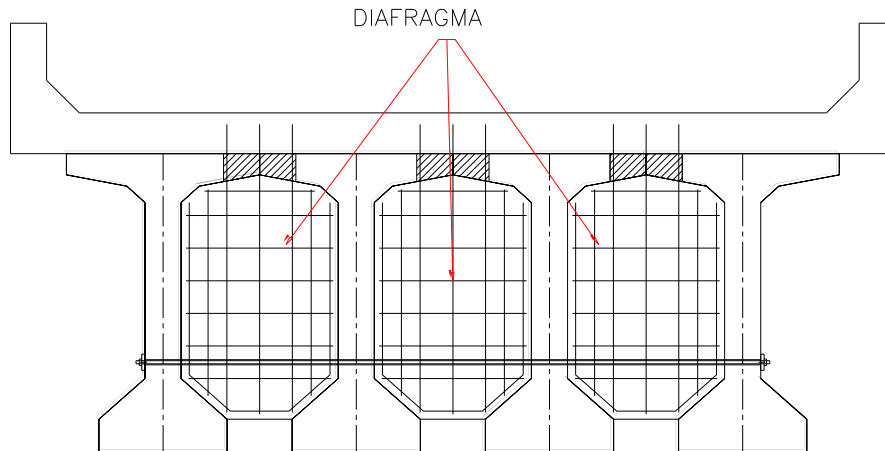


Fig.6.8 Croquis de diafragma en el claro 2-3

Desde el punto de vista de Ingeniería de Valor, resulta no conveniente realizar el análisis de diafragmas en este tipo de puentes, ya que si se observan el volumen de concreto y la cantidad de acero como porcentaje del total de materiales (el concreto de diafragmas es aproximadamente 1% del total y su cantidad de acero el 0.5% del acero total del puente) no representan un ahorro significativo, y más aún, los diafragmas utilizados normalmente han funcionado bien en puentes de este tipo.

#### 6.1.1.4-Apoyos de neopreno

Los Apoyos de Neopreno son elaborados a base de este material reforzado con láminas de Acero al Carbón tipo A-36 que se integran en el apoyo durante su proceso de fabricación, vulcanizándolas al Neopreno asegurando una perfecta adhesión.

Fueron diseñados apoyos de neopreno de 4.1 centímetros de espesor, cuya importancia es proporcionar cierta ductilidad a la estructura, soportar las cargas que están siendo transmitidas a la subestructura y evitar los corrimientos de ésta última con la superestructura en caso de sismo. Los apoyos de neopreno están compuestos por capas de elastómero y placas de acero que se encuentran intercalados y su mantenimiento consiste en su reemplazo, aproximadamente cada diez años.

#### 6.1.2-Subestructura

La subestructura consiste en dos caballetes y dos pilas. La labor de dichos elementos es bajar las cargas a la cimentación y resistir las sollicitaciones como son:

## Cargas permanentes

Peso propio y de superestructura  
Empujes de tierra

## Cargas no permanentes

Sismo  
Carga viva (COOPER E-80)

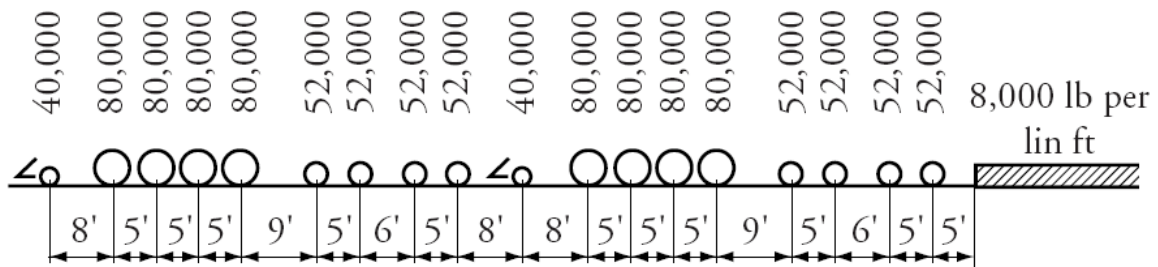


Fig.6.9.- Distribución de cargas puntuales en libras para tren COOPER E-80

### 6.1.2.1-Pilas

Las pilas soportarán a la superestructura en sus tramos intermedios, transmitiendo las cargas a la cimentación y formando así un sistema integral con ésta última. Las pilas diseñadas para este puente constan de: un cabezal, topes sísmicos, bancos de apoyo, columna de sección variable y pilas de cimentación.

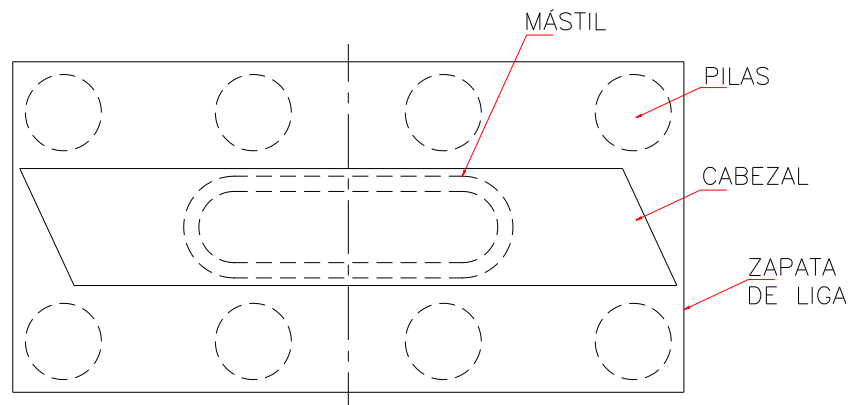


Fig.6.10- Vista en planta de la cimentación (zapata de liga entre base de la columna y pilas de cimentación)

### 6.1.2.2-Caballetes

Los caballetes soportan a la superestructura en los extremos, misma razón por la cual los caballetes están sometidos a empuje de tierras. Los elementos que conforman al caballete son: topes sísmicos, bancos de apoyo, diafragma para contener al terraplén, cabezal, piezas de neopreno que ayudan a disipar las cargas laterales y longitudinales, así como de pilas que unen el cabezal con la cimentación. Desde el punto de vista de valor, las pilas y caballetes son un elemento muy importante ya que al evaluar con exactitud las solicitaciones a las que se ven sujetos estos elementos podemos optimizar sus dimensiones y en caso de ser de concreto, como en este caso, optimizar la cuantía de acero, lo cual significa un ahorro importante.

A continuación se describirá el proceso del plan de trabajo de Ingeniería de Valor propuesto para poder realizar un estudio de valor para una obra de ingeniería civil.

### 6.2-Fase Informativa

Como ya se ha citado en el capítulo 2 “Descripción de la metodología”, en esta fase del plan de trabajo, el equipo de estudio de Ingeniería de Valor reunirá toda la información posible relacionada con el proyecto; como en este caso estamos hablando de un proyecto en su etapa de diseño, se deberán tener todos los datos utilizados para su diseño, dicha información podría consistir (a grandes rasgos) en los siguientes puntos:

1. Estudio geotécnico
2. Estudio geométrico
3. Estudio topohidráulico
4. Estudio topográfico
5. Memoria descriptiva del proyecto
6. Proyecto ejecutivo **completo**

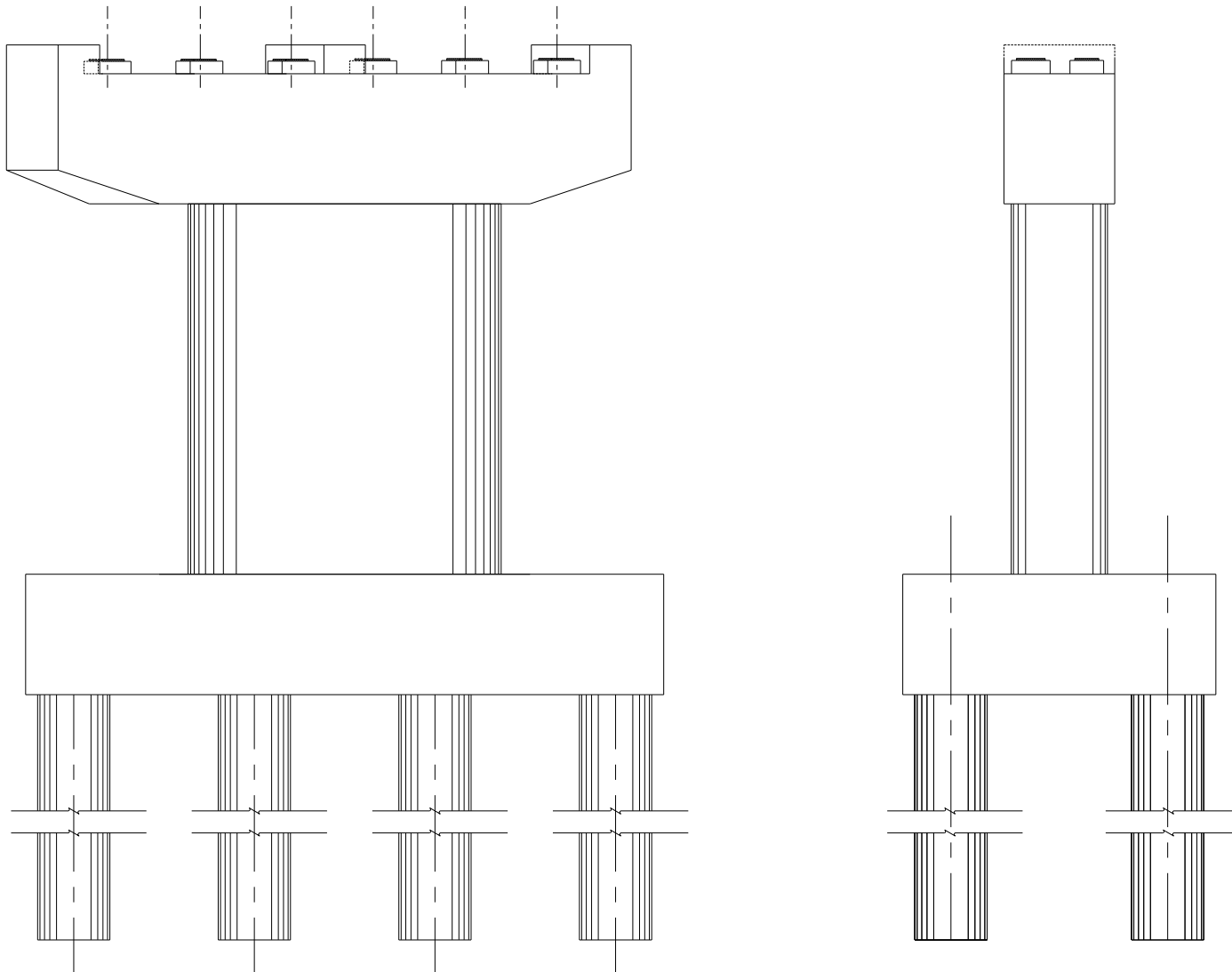


Fig.6.11 Elemento pila del proyecto "Las Lajas III"

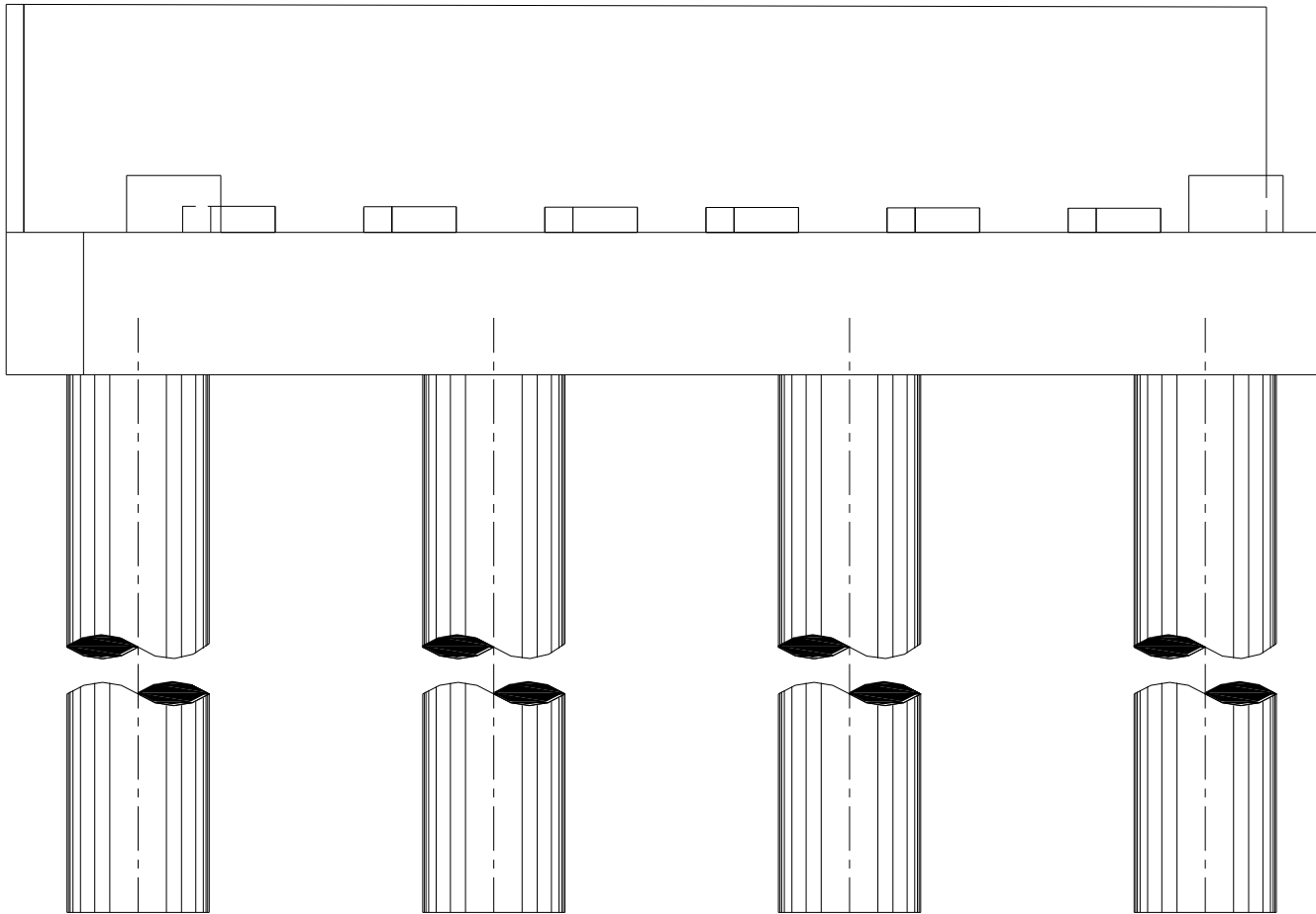


Fig.6.12 Elemento caballete del proyecto "Las Lajas III"

Una vez obtenida esta información se deberá juntar un grupo de especialistas que puedan estudiar la información proporcionada y poder así participar posteriormente en las etapas del plan de trabajo de manera efectiva. A continuación se enlista el equipo propuesto para realizar el plan de trabajo:

1. Ingeniero estructurista especializado en puentes ferroviarios – Analizará los cálculos realizados para realizar el diseño estructural. Reunirá cualquier información faltante y será el primer involucrado con el ingeniero proyectista. La participación de éste es fundamental, pues revisará el proyecto antes y después del estudio de valor.
2. Ingeniero geotecnista especializado en cimentaciones – Revisará el estudio geotécnico y estará presente para optimizar inmediatamente la cimentación del puente en las soluciones alternativas. También podrá proponer el uso de nuevas tecnologías en cimentación de puentes.
3. Ingeniero geotecnista especializado en vías terrestres – Revisará el proyecto geométrico y de terracerías. También pondrá la pauta para proponer soluciones cuidando el deterioro de la estructura de pavimento con el tiempo y con ella los accesos del puente.
4. Ingeniero en transportes – Cuidará que las nuevas alternativas no afecten la calidad de servicio de la vía. Su participación en el plan de trabajo será fundamental pues identificará y cuantificará los beneficios del proyecto cuidando principalmente el costo de ciclo de vida del proyecto.

### **6.3-Fase especulativa**

En esta fase, se revisará toda aquella información que sea necesaria para consolidar el estudio de valor al proyecto de “Las Lajas III” para poder identificar la información de la que se está prescindiendo.

En esta fase el equipo de trabajo reconocerá todos los elementos con los que no cuenta; una vez que se han determinado, se podrán tomar decisiones pensando en las condiciones que podrían ser más desfavorables y cuya probabilidad de ocurrir sea alta.

Podemos especular en cada uno de los componentes del puente ya que todos requieren datos específicos para su diseño. Las posibles especulaciones para este proyecto son principalmente, referentes a la geotecnia como se menciona a continuación:

Pilas.- En este tipo de elemento se puede especular que el perfil de socavación determinado en el estudio topohidráulico podría no ser exacto, ya que se conoce de antemano que el suelo no es una masa homogénea ni isotrópica, por lo tanto, los especialistas determinarán el perfil que presenta las peores condiciones

pensando en el nivel de desplante de la zapata y tipo de cimentación de la estructura.

Caballetes.- El estudio de geotecnia es realizado a través de muestras extraídas de dos o más sondeos por lo que el nivel de desplante de las pilas- pilotes de los caballetes también podría ser subjetivo. El grupo de especialistas podría determinar las condiciones geotécnicas más desfavorables para la cimentación del caballete.

También es importante en esta fase reconocer, aquellos componentes que tienen el principal costo y para tal fin bien se puede guiar por el volumen de materiales, ya que este puede tomarse como un buen índice del costo por ser proporcional al costo total. La tabla 6.1 se presenta una lista de materiales y porcentajes para el proyecto de puente “Las Lajas III” de tal manera que se puedan localizar los que tienen prioridad. Como se puede observar, aquellos componentes que tienen una mayor cantidad de materiales son las cimentaciones de los apoyos extremos e intermedios del puente, con lo cual se puede especular que una importante reducción en el costo es obtenida a partir de seguir esta jerarquía en el estudio de los componentes.

#### **6.4-Fase analítica**

El objetivo de ésta fase es analizar los resultados de la fase especulativa y a través de la revisión de varias alternativas seleccionar las mejores ideas.

En esta etapa, son generadas soluciones y el equipo analiza cada una de esas alternativas, sin descartar ninguna de ellas. Es precisamente aquí donde entra la objetividad para que el método funcione y sin prescindir de la experiencia pueda sustituir a la intuición. Se debe recordar que el objetivo es generar ideas y formalizar propuestas, mas no hacer más corta la lista de posibilidades.

También es en esta parte del proceso donde se debe de utilizar toda la capacidad técnica disponible y llegar a conclusiones importantes que puedan determinar qué solución o conjunto de soluciones son aquellas que agregan el máximo valor a las componentes del proyecto.

Habiendo ya reconocido en la fase especulativa una jerarquía de importancia de costos más o menos confiable, se presume que el análisis del puente “Las Lajas III” se puede evaluar en el siguiente orden de alternativas:

<b>Componente</b>	<b>Propuesta</b>
Pila	En las pilas se propone cambiar el nivel de desplante de la zapata ligada a pilotes de punta (pilas de cimentación), teniendo en cuenta el perfil de socavación

Pila (mástil)	Se propone cambiar la sección de la columna de la pila a una sección hueca variable; ésta puede ser de forma ovalada para reducir el área que se opone al escurrimiento y permitir así el paso al agua de manera eficiente desde el punto de vista hidrodinámico. También se conoce que este tipo de sección es recomendable para transmisión de esfuerzos.
Superestructura	Se propone evaluar el comportamiento estructural con un solo cuerpo sobre la pila. Esto podría mejorar el comportamiento estructural de la pila al aumentar la carga axial, uniformizando los esfuerzos en la pila desde la primera etapa y haciendo la sección más eficiente.
Superestructura	Se propone construir un solo cuerpo sobre la pila, dejando un hombro sin preparación de balasto, durmientes y vías para su habilitado en el futuro, especulando que construir otro en el futuro podría generar costos adicionales de construcción.
Superestructura	Se propone una superestructura continua con elementos de concreto postensado y colados de liga; el sistema postensado ayuda a lograr claros más largos y a optimizar el número de apoyos intermedios.
Superestructura	Se propone una superestructura de tipo mixto; esto podría facilitar y agilizar el procedimiento constructivo y aumentar potencial de valor agregado por ahorros de costos en mantenimiento.
Superestructura	Se propone utilizar durmientes de madera para soportar las cargas de ferrocarril, colocados a manera de vigas y a su vez apoyados sobre elementos portantes metálicos. Esto agregaría valor al proyecto, pues aunque aumentaría los costos de mantenimiento, aligeraría la estructura y con ello los elementos mecánicos.
Protección de cono de derrame (margen derecha)	Se propone utilizar geotextiles para protección contra la erosión de taludes, en adición a la capa de enrocamiento. Esto podría reducir costos de mantenimiento y prevenir posible socavación en el suelo donde desplantan las cimentaciones de los apoyos.



PARTE DEL PUENTE	COMPONENTE	MATERIAL	SUBCOMPONENTE	VOLUMEN	UNIDAD	PORCENTAJE DEL TOTAL
SUBESTRUCTURA	CABALLETES	ACERO	PILOTES COLADOS EN SITIO 120φ	91823.0	KG	28.05%
SUBESTRUCTURA	PILA No. 2 y 5	CONCRETO	ZAPATAS	430.60	M3	28.00%
SUBESTRUCTURA	CABALLETES	CONCRETO	PILOTES COLADOS EN SITIO 120φ	221.81	M3	14.42%
SUBESTRUCTURA	PILA No. 2 y 6	CONCRETO	PILOTES COLADOS EN SITIO 120φ	189.1	M3	12.30%
SUBESTRUCTURA	PILA No. 2 y 12	ACERO	ZAPATAS	37672.00	KG	11.51%
SUPERESTRUCTURA	TRABES DE CONCRETO	CONCRETO	TRABES DE CONCRETO PRESFORZADO	168.24	M3	10.94%
SUBESTRUCTURA	PILA No. 2 y 13	ACERO	PILOTES COLADOS EN SITIO 120φ	34398	KG	10.51%
SUBESTRUCTURA	PILA No. 2 y 3	CONCRETO	EN CABEZAL, BANCOS Y TOPES	149.60	M3	9.73%
SUPERESTRUCTURA	LOSA Y DIAFRAGMAS	ACERO	LOSA	31491.00	KG	9.62%
SUBESTRUCTURA	PILA No. 2 y 11	ACERO	COLUMNA HUECA	29214.00	KG	8.92%
SUBESTRUCTURA	CABALLETES	ACERO	EN LOSA DE ACCESO Y MÉNSULA	28648	KG	8.75%
SUBESTRUCTURA	PILA No. 2 y 10	ACERO	EN CABEZAL, BANCOS Y TOPES	25916.00	KG	7.92%
SUPERESTRUCTURA	TRABES DE	ACERO	ACERO DE REFUERZO DE $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	22720.00	KG	6.94%
SUBESTRUCTURA	CABALLETES	CONCRETO	EN CABEZAL, ALEROS, DIAFRAGMAS, BANCOS Y TOPES	105.6	M3	6.87%
SUPERESTRUCTURA	LOSA Y	CONCRETO	LOSA	87.11	M3	5.66%
SUBESTRUCTURA	CABALLETES	CONCRETO	EN LOSA DE ACCESO	72	M3	4.68%
SUBESTRUCTURA	PILA No. 2 y 4	CONCRETO	COLUMNA HUECA	65.40	M3	4.25%
SUBESTRUCTURA	CABALLETES	ACERO	EN CABEZAL, ALEROS, DIAFRAGMAS, BANCOS Y TOPES	11650	KG	3.56%
SUPERESTRUCTURA	TRABES DE	ACERO	ACERO DE PRESFUERZO, TORONES DE 1.27φ DE L.R.>19000	11414.84	KG	3.49%
ACCESOS		CONCRETO	CONO DE DERRAME	28.36	M3	1.84%
SUPERESTRUCTURA	LOSA Y	CONCRETO	DIAFRAGMAS	19.95	M3	1.30%
SUPERESTRUCTURA	LOSA Y	ACERO	DIAFRAGMAS	1313.00	KG	0.40%
SUPERESTRUCTURA	APOYOS	ACERO	ACERO ESTRUCTURAL A-36	412.8	KG	0.13%
SUPERESTRUCTURA	TRABES DE CONCRETO PRESFORZADO	ACERO	CABLES TIPO CASCABEL GALVANIZADO SERIE 6X19 ALMA DE ACERO DE 1.59φ PARA IZADO	310.28	KG	0.09%
SUPERESTRUCTURA	LOSA Y	ACERO	VARILLA CON ROSCA EN SUS EXTREMOS DE $F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	253.00	KG	0.08%
SUPERESTRUCTURA	LOSA Y	ACERO	ACERO ESTRUCTURAL A-36 EN PLACAS DE ANCLAJE	125.50	KG	0.04%

Nota: El porcentaje del total, se refiere en cada caso al total de concreto o de acero

Tabla.6.1 – Orden de componentes a estudiarse en el plan de trabajo de Ingeniería de Valor

Para evaluar estas alternativas se debe asegurar que se está comprendiendo la función de cada componente por parte del equipo de trabajo. Para ello se utiliza una metodología que consiste en describir la función de cada componente por dos palabras (verbo – sustantivo), sin embargo, en la terminología empleada en las diferentes ramas de la ingeniería civil se hace constante uso de dos sustantivos (carga viva, carga muerta, salto hidráulico, desplazamientos horizontales, desplazamientos verticales, etc.) por lo que se propone expresar la función de cada componente con el menor número de palabras posibles. La importancia consiste en demostrar que se está comprendiendo a la perfección para qué sirve cada cosa. En este proceso se puede escribir más de una función para cada componente (ver tabla 6.2) de tal manera que al finalizar podamos identificar las funciones primarias y secundarias, pues como se menciona en el capítulo II, son las funciones secundarias las que contienen un ahorro potencial y en las que el costo se puede reducir de manera importante.

Se debe analizar cada una de las alternativas sin descartar alguna, por el contrario, se debe tratar que cada una funcione. En el caso del proyecto “Las Lajas III”, se propone comenzar por el análisis de la alternativa más prometedora y continuar hasta asignar a cada una de ellas un costo. Las posibles modificaciones para este proyecto podrían ser:

1. Cambio de diseño de cabezal de pilas
2. Cambio de sección transversal de pila
3. Optimización de topes sísmicos
4. Optimización de acero en losa de acceso
5. Optimización de acero en muros de contención de balasto
6. Uso de geotextil con enrocamiento

Una vez que se ha seleccionado las alternativas es necesario pasar a la fase de planeación.

## **6.5-Fase de desarrollo**

El objetivo de esta fase según el manual de Ingeniería de Valor elaborado por el Departamento de Transportes de Virginia Occidental es, recolectar información adicional para analizar cuidadosamente las mejores alternativas seleccionadas durante la fase de evaluación y preparar estimaciones de costos así como diseños preliminares que asegurarán la aceptabilidad y la implementación del proyecto final.

PORTE DEL PUENTE	COMPONENTE	FUNCIÓN	TIPO DE FUNCIÓN (BÁSICA/SECUNDARIA)	COSTO
SUBESTRUCTURA	CABALLETES 1 Y 4	TRANSMITIR CARGAS	BÁSICA	---
		RESISTIR ESFUERZOS	BÁSICA	---
		CONTENER EL TERRAPLÉN	SECUNDARIA	---
		ESTÉTICA	SECUNDARIA	---
SUBESTRUCTURA	PILA No. 2 y 3	SOPORTAR SUPERESTRUCTURA	BÁSICA	---
		TRANSMITIR CARGAS	BÁSICA	---
		RESISTIR ESFUERZOS	BÁSICA	---
		MODERAR DESPLAZAMIENTOS	SECUNDARIA	---
		PERMITIR FLUJO DE AGUA	SECUNDARIA	---
		ESTÉTICA	SECUNDARIA	---
SUPERESTRUCTURA	TRABES DE CONCRETO PRESFORZADO	SOPORTAR CARGAS	BÁSICA	---
SUPERESTRUCTURA	LOSA	SOPORTAR CARGAS	BÁSICA	---
		SOPORTAR PARAPETO	SECUNDARIA	---
		SOPORTAR BARRERA	SECUNDARIA	---
		UNIFORMIZAR CARGA	BÁSICA	---
SUPERESTRUCTURA	DIAFRAGMAS	UNIFORMIZAR CARGA	BÁSICA	---
SUPERESTRUCTURA	GUARNICIÓN Y PARAPETO	BRINDAR SEGURIDAD	BÁSICA	---
		ESTÉTICA	SECUNDARIA	---
ACCESOS	LOSA DE ACCESO	UNIFORMIZAR CARGA	BÁSICA	---
SUBESTRUCTURA	DISPOSITIVO DE APOYO	TRANSMITIR CARGAS	SECUNDARIA	---
		SOPORTAR ESFUERZOS	BÁSICA	---
		PERMITIR DEFORMACIONES	BÁSICA	---
		RESTRINGIR CORRIMIENTOS	BÁSICA	---
SUBESTRUCTURA	BANCOS DE APOYO	TRANSMITIR CARGAS	SECUNDARIA	---
		PROPORCIONAR SOBRE-ELEVACIÓN	BÁSICA	---
SUBESTRUCTURA	ALEROS	CONTENER EL TERRAPLÉN	BÁSICA	---
SUBESTRUCTURA	MURO PANTALLA	ESTÉTICA	SECUNDARIA	---
SUBESTRUCTURA	TOPE SÍSMICO	RESTRINGIR DESPLAZAMIENTOS	BÁSICA	---
		ENROCAMIENTO DE TALUD	SECUNDARIA	---
CAUCE	ENROCAMIENTO DE TALUD	PROTEGER TALUD	SECUNDARIA	---

Tabla 6.2. Análisis funcional básico de componentes del puente “Las Lajas III”

Es necesario consultar a especialistas en materiales dentro y fuera del equipo de trabajo pues como bien se sabe en el área de la construcción se hace uso de una amplia variedad de materiales y de patentes. Por ejemplo, en el caso del puente “Las Lajas III”, una de las alternativas especulativamente más importantes es la protección del talud ya que existe una amenaza que es la socavación y de llegar a la cimentación del puente en los caballetes, puede llegar a ocasionar desde problemas de desplome, hasta la falla total del puente, siendo todos estos costos adicionales que no se presentan al corto plazo. Difícilmente los especialistas podrán conocer todas las especificaciones acerca de las patentes y soluciones de ingeniería, por lo que será útil investigar un poco más a fondo con los que han aplicado o construido un tipo de solución para estos problemas, aumentando así la creatividad de equipo.

Se deben considerar los siguientes puntos para obtener la información adicional:

- Determinar fuentes posibles de información adicional - Por ejemplo, proveedores de geotextiles, determinación de posicionamiento de trincheras, consideraciones para resistencia a la tensión y al punzonamiento del material, etc.
- Aclarar factibilidad técnica de las alternativas seleccionadas – Determinar en qué casos sí y en qué casos no se ha aplicado la solución. Por ejemplo, investigar los parámetros que podrían hacer que no funcione.
- Determinar factibilidad económica de las alternativas seleccionadas – Investigar el periodo de diseño de la solución; determinar beneficios a esperar cuando termine el ciclo de vida del proyecto.
- Presentar hallazgos en detalles de propuestas de cambio – La Ingeniería de Valor también funciona como revisión del proyecto, se deben presentar hallazgos de anomalías en el proyecto a proyectista
- Desarrollar un programa de implementación – Se deben establecer fechas límite para la revisión de la última fase, cuidando que

En este punto se debe evaluar la factibilidad económica en su totalidad, en conjunto con otras variables. Debe tenerse en cuenta que es necesario tener claro que el costo analizado en esta fase es el costo de ciclo de vida del proyecto, es decir, el costo total originado durante el periodo de servicio de la estructura

De igual manera no debe olvidarse que el costo que se está analizando es el costo de ciclo de vida del proyecto expresado en valor presente, obtenido mediante la siguiente expresión:

$$PV = \frac{FV}{(1 + i)^n}$$

Donde:

PV= es el costo en el año n expresado en valor presente

FV= Valor futuro o costo futuro

i= es la tasa que descuenta anualmente al valor futuro

n= es el número de años que el costo ha ido cambiando a partir del presente

Según el manual de Ingeniería de Valor elaborado por el Departamento de Transportes de Virginia Occidental el costo de la función es el costo del método utilizado para realizar la función en consideración; donde un componente sirve para cumplir una función, el costo del componente es el costo de la función, sin embargo, cuando un componente tiene más de una función, el costo del componente debe ser repartido en cada una de sus funciones.

El puente “Las Lajas III” cuenta con componentes que tienen más de una función y varias de ellas son de clasificación secundaria.

## **6.6-Fase de presentación**

El objetivo de esta fase es presentar las alternativas recomendadas al equipo que toma las decisiones, en términos lo suficientemente convincentes para que ellos las acepten. Los tomadores de decisiones son aquellos que aceptan (o no) las recomendaciones elaboradas por el equipo de Ingeniería de Valor (el cliente o en este caso la Secretaría de Comunicaciones y Transportes).

Para este proyecto, se deben generar en esta fase los siguientes puntos para su presentación:

- Anticipar preguntas que se puedan presentar, por ejemplo, en el caso del cuestionamiento de la solución con geotextil, cuál es el ahorro que resulta de la optimización de acero, cuál es la discrepancia en costo entre construir un sólo cuerpo y construir dos en tiempos diferidos, etc. Así como anticiparse a obstáculos que puedan influir en no seguir las recomendaciones del estudio de Ingeniería de Valor.
- Preparar propuesta escrita que contenga:
  - Resumen de estudio de valor
  - Identificación de ventajas y desventajas de la utilización de cada una de las alternativas, por ejemplo, no se puede utilizar una superestructura mixta sin cambiar dispositivos de apoyos, ni hacer estas últimas dos sin realizar cambios en el diseño estructural de todos los apoyos pero las ventaja podría ser la reducción de claros y la rapidez de construcción.
  - Recomendaciones de acciones específicas de construcción
  - Sugerencia de plan de implementación
- Preparar una buena presentación oral
- Ser convincentes al momento de “vender” las ideas

Para aumentar las probabilidades de éxito de esta fase, el manual de Ingeniería de Valor del Departamento de Transportes de Virginia Occidental, hace las siguientes recomendaciones:

- Considerar la necesidad del cliente. Usar terminología apropiada para la organización y posición de quien revisa el proyecto. Cada propuesta consta usualmente de una parte técnica y una económica, siendo ambas en este caso para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. La parte técnica requiere tener un gran nivel de detalle, de manera que se demuestre la factibilidad de los cambios estructurales; sin embargo, la parte económica tiende a tener mayor importancia, por lo que la parte técnica debe ser resumida y las implicaciones financieras deben ser enfatizadas.

- Ante las fechas de entrega cercanas, los proyectos tienden a tener detalles por perfeccionar, por lo que es importante que el equipo de Ingeniería de Valor revise constantemente el avance del proyecto y se realicen los cambios necesarios.
- Relacionar los beneficios con los objetivos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Las propuestas de Ingeniería de Valor que representan un avance teniendo un objetivo común tienen mayor probabilidad de aprobadas, es por ello que es necesario entender la función y la manera en que se está agregando valor al elemento estudiado.
- Mostrar que el beneficio de la inversión en Ingeniería de Valor es un beneficio mutuo. Las propuestas, muchas veces, ofrecen beneficios más grandes que las mejoras de costos. Es necesario identificar estos beneficios y expresarlos con números.

## **6.7-Fase de implementación**

El objetivo de esta fase es asegurar que las propuestas que han sido aprobadas pueden ser rápidamente puestas en práctica y que pueden alcanzar los ahorros y mejoras generales en el proyecto que fueron propuestas.

Los puntos a cumplir durante esta fase para el proyecto “Las Lajas III” son:

- Desarrollar un plan de implementación – describir el protocolo que hay que seguir para incluir las alternativas aceptadas en el proyecto. También debe reconocerse con absoluta precisión todos los cambios en el diseño estructural del puente “Las Lajas III” originados por las alternativas a incluir.
- Ejecutar el plan – incorporar las modificaciones autorizadas al proyecto
- Supervisión del plan hasta la finalización – se debe dar seguimiento hasta que el proyecto con las respectivas modificaciones esté completo

La implementación del estudio de Ingeniería de Valor para el puente “Las Lajas III” consiste en la elaboración de un reporte que deberá contener los siguientes aspectos:

- Debe contener un orden, el cual debe tomar en cuenta las alternativas aprobadas y reconocer cuáles son las que mayores cambios ocasionan en el proyecto. Un orden tentativo podría ir desde el cambio de sección transversal del mástil de las pilas (ya que requiere una adecuación y nueva revisión del cabezal), hasta llegar a aquellos cambios que prácticamente no afectarán la geometría del proyecto, por ejemplo, el uso de geotextil con enrocamiento, que sólo requiere cambios en el proceso constructivo de protección de talud y añadir trincheras para sujeción de geotextil
- Desarrollar diagramas que expliquen cómo funciona cada solución. Esta explicación gráfica debe describir claramente lo que se tenía antes de la Ingeniería de Valor y después de realizado el estudio.

- Realizar una tabla para cada solución que contenga costo no recurrente y un desglose del costo de ciclo de vida del proyecto
- Material, mano de obra y maquinaria empleados en el viejo y nuevo enfoque
- Herramienta y maquinaria que conllevan los nuevos métodos
- Tablas comparativas (resultados originales-resultados con Ingeniería de Valor)
- Conclusiones
- Recomendaciones del proyecto en forma condensada

### **6.7.1.- Ejemplo de reporte de Ingeniería de Valor para el proyecto “Las Lajas III”**

A continuación se ejemplifica un reporte, desarrollando una de las soluciones propuestas para incrementar el valor del puente “Las Lajas III”. En este caso se selecciona la propuesta para proteger el cono de derrame con un geotextil.

Aunque se tendrían que haber evaluado todas las alternativas para elaborar una lista con un orden de importancia objetivo (y con propuestas aceptadas), para fines de ejemplificar un reporte, se presenta la siguiente lista:

Propuesta no.1 – Cambio de sección de mástil de las pilas

Descripción y comparación de propuesta no.1  
 Comparación de costos para propuesta no.1  
 Implementación de propuesta no.1

Propuesta no.2 – Cambio de nivel de desplante de zapatas de liga

Descripción y comparación de propuesta no.2  
 Comparación de costos para propuesta no.2  
 Implementación de propuesta no.2

Propuesta no.3 – Cambio de superestructura a un solo cuerpo

Descripción y comparación de propuesta no.3  
 Comparación de costos para propuesta no.3  
 Implementación de propuesta no.3

Propuesta no.4 – Construcción de un solo cuerpo con un hombro sin habilitar

Descripción y comparación de propuesta no.4  
 Comparación de costos para propuesta no.4  
 Implementación de propuesta no.4

Propuesta no.5 – Cambio a superestructura continua

Descripción y comparación de propuesta no.5  
 Comparación de costos para propuesta no.5  
 Implementación de propuesta no.5

Propuesta no.6 – Cambio a superestructura de tipo mixto

Descripción y comparación de propuesta no.6  
 Comparación de costos para propuesta no.6  
 Implementación de propuesta no.6

Propuesta no.7 – Cambio de superestructura a traves metálicas y durmientes de madera

Descripción y comparación de propuesta no.7  
 Comparación de costos para propuesta no.7  
 Implementación de propuesta no.7

Propuesta no.8 – Protección de cono de derrame en margen derecha con geotextil

Descripción y comparación de propuesta no.8  
 Figura 6.13 – cambio de inclinación de talud y volumen ahorrado  
 Figura 6.14 – solución original  
 Figura 6.15 – solución con VE  
 Comparación de costos para propuesta no.8  
 Implementación de propuesta no.8

### 6.7.1.1.- Descripción y comparación de propuesta

<b>Protección de cono de derrame (margen derecha)</b>	<p><b>Idea original:</b> Proteger el cono de derrame en margen derecha con una capa de enrocamiento simple.</p> <p><b>Ventaja:</b> El costo no recurrente es mínimo</p> <p><b>Desventaja:</b> Es necesario supervisar el funcionamiento de la solución, la cual, al no cubrir totalmente el material tiene un alto grado de incertidumbre y puede dar origen a costos recurrentes en la vida de la estructura.</p>
	<p><b>Idea de Ingeniería de Valor:</b> Se propone utilizar geotextil debajo de la capa de enrocamiento para controlar la erosión del talud.</p> <p><b>Ventaja:</b> La protección del talud es mayor, ya que la parte del cono de derrame que tiene contacto con el agua es cubierta totalmente por el geotextil. En adición,</p>



	<p>es posible generar un ahorro de material aumentando la inclinación del talud del cono de derrame.</p> <p><b>Desventaja:</b> El costo no recurrente del cono de derrame aumenta y el proceso constructivo es más tardado.</p>
--	---

En la figura 6.13 se ilustra el ahorro de material con las distintas soluciones. Cabe mencionar que el talud obtenido (1:1.5) con Ingeniería de Valor es un valor típico en proyectos de puentes para conos de derrame y el cambio se justifica con el uso del geotextil, ya que éste último protege de la erosión al talud y por lo tanto es posible construir el terraplén con un ángulo que sea mayor que el original y más cercano al ángulo de reposo del suelo.

Realizando los cálculos correspondientes, se determina que el volumen de material ahorrado resulta:

$$\text{Volumen}_{\text{ahorrado}} = 96 \text{ m}^3$$

Es necesario resaltar que cualquier cambio en el talud afectará únicamente al costo inicial, ya que la geometría de éste no contribuye a la función del componente en estudio. En las figuras 6.14 y 6.15 se ilustran las propuestas técnicas original y la de Ingeniería de Valor respectivamente.

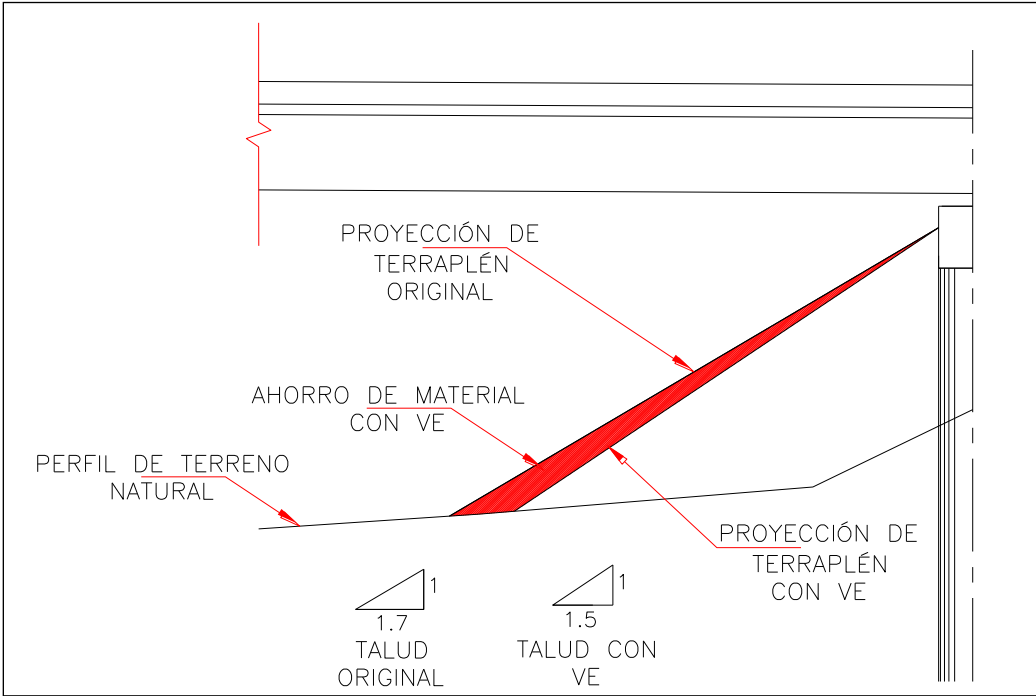


Fig. 6.13. – Comparación de perfil de terraplén original y el propuesto con VE.

En cuanto al estudio de costo del geotextil es necesario realizar un análisis más profundo, pues para el costo de ciclo de vida del proyecto es necesario tomar en cuenta los costos recurrentes y no recurrentes. Para lo anterior es necesario determinar un periodo de vida útil de proyecto, pues la suma de los costos dentro de éste tiempo serán los costos del ciclo de vida. Según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), para efectos de amortización de la inversión se considera una **vida útil de 15 años** (aunque, en términos de servicio la vida útil de un puente es mucho más larga con un mantenimiento adecuado), así mismo según varios proveedores la **vida útil del geotextil es de 25 años**.

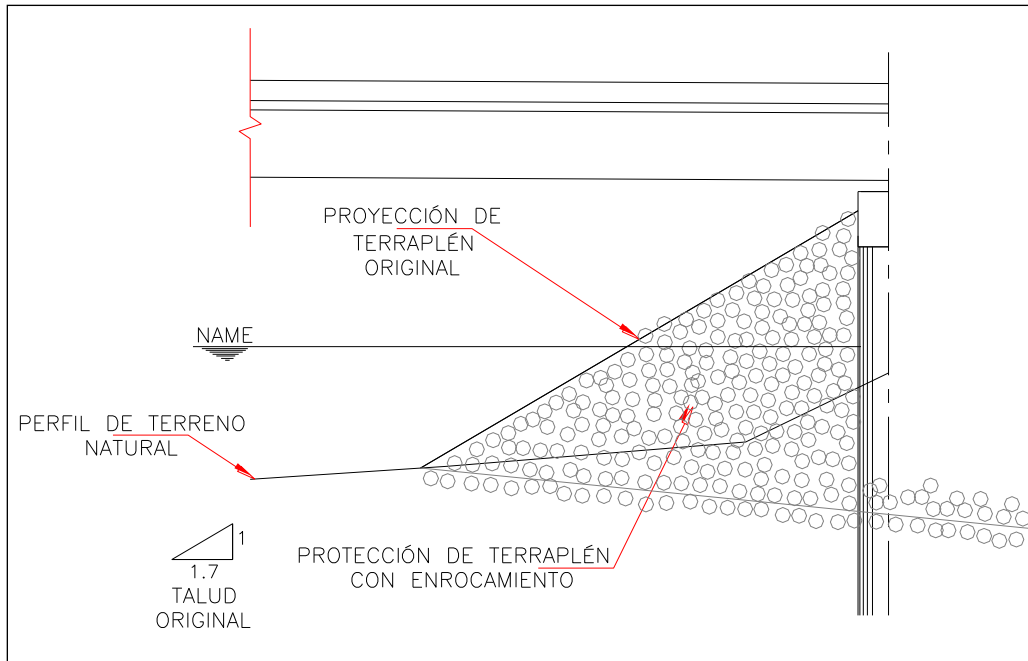


Fig. 6.14- Solución original

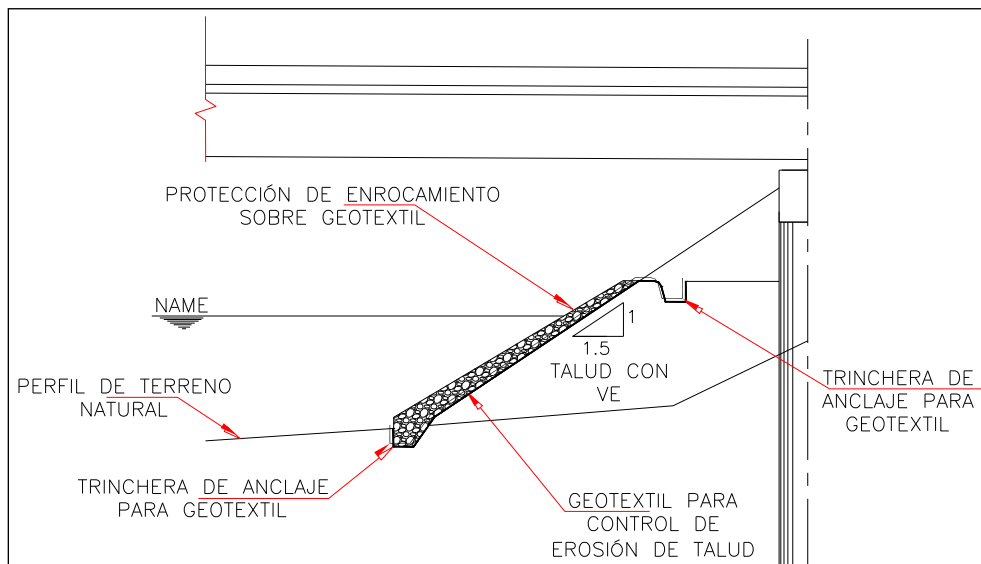


Fig. 6.15- Solución con VE

### 6.7.1.2.- Comparación de costos

Con fines de realizar una estimación de los costos de este ejemplo se harán varias suposiciones para calcular el valor, por ejemplo, se tomarán precios unitarios aproximados, que han sido tomados de proyectos similares; de igual manera se tomará un valor para la tasa de descuento del 4%, teniendo en cuenta que el componente en estudio no lleva involucrado acero (cuyo precio es volátil) y en consecuencia podemos asumir que los precios de los materiales en cuestión varían de manera estable y por lo tanto, la variación anual de los precios se puede representar con dicha tasa.

Para el cálculo del costo en los años consecuentes, se supondrá un porcentaje de 10% del costo de reportes de inspección (suponiendo un costo aproximado de \$27000 anuales) como costo base, añadiendo a éste un porcentaje de las reparaciones esperadas, el criterio de dicho porcentaje se menciona a continuación:

- Para la solución original se supondrá una reparación anual equivalente al 5% del costo no recurrente, esto es debido a que la eficiencia de la solución depende únicamente de la capa de enrocamiento.
- Para la solución propuesta en el ejemplo de Ingeniería de Valor se supondrá un porcentaje de 1%, pues como se ha descrito anteriormente, el control de la erosión del terraplén no sólo depende de la capa de enrocamiento, sino también del geotextil, cuya principal ventaja es su durabilidad.

Realizando el cálculo de costos no recurrentes se obtiene:

Costos no recurrentes					
	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Idea original	Colocación de geotextil P.U.O.T.	M2	0	\$ 167.19	\$ -
	Colocación de Enrocamiento 18" no cementado P.U.O.T.	M2	386.4	\$ 742.00	-\$286,708.80
				Total	-\$286,708.80
Costos no recurrentes					
	Concepto	Unidad	Cantidad	P.U.	Total
Idea de ingeniería de valor	Colocación de geotextil P.U.O.T.	M2	339	\$ 167.19	-\$ 56,677.41
	Colocación de Enrocamiento 18" no cementado P.U.O.T.	M2	386.4	\$ 742.00	-\$286,708.80
	<b>Ahorro de material por cambio de inclinación en cono de derrame (+)</b>	M3	96	\$ 254.67	\$ 24,448.32
					-\$318,937.89

De donde se obtiene el primer costo del análisis de ciclo de vida del proyecto. Realizando el análisis en los 15 años de vida útil se obtiene:

Año	Costo de solución original	Costo de alternativa de VE
0	-\$ 286,708.80	-\$ 318,937.89
1	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
2	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
3	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
4	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
5	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
6	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
7	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
8	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
9	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
10	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
11	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
12	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
13	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
14	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
15	-\$ 17,035.44	-\$ 5,889.38
VP(-)	-\$ 476,115.42	-\$ 384,418.29
<b>Costo funcional</b>	-\$ 286,708.80	-\$ 318,937.89
<b>Costo de ciclo de vida del proyecto (LCC)</b>	-\$ 476,115.42	-\$ 384,418.29
<b>Valor</b>	<b>0.60</b>	<b>0.83</b>

De donde finalmente podemos observar un incremento de valor del 23% con la propuesta de Ingeniería de Valor.

### 6.7.1.3.- Implementación

Para implementar esta solución es necesario primero realizar las adecuaciones en el proyecto con el objetivo de poder construirlo posteriormente. Se describe a continuación los trabajos a realizar en la etapa de ejecución.

1. Construcción de caballete no.4
2. Construcción de terraplén hasta elevación 1741 m.s.n.m. (ver especificación en plano general)
3. Realizar excavaciones de trincheras de anclaje para geotextil.
4. Colocación de geotextil y relleno de trincheras de anclaje con enrocamiento (de  $\Phi 18''$ )
5. Construcción de terraplén sobre geotextil

### 6.7.1.4.- Material, mano de obra y maquinaria empleados

De acuerdo con la norma AASHTO<sup>2</sup> M288 (referente a la durabilidad de geotextiles en aplicaciones de ingeniería), el material a utilizar es un geotextil tipo 2 (160 N) no tejido, cuyas propiedades mecánicas se muestran en la tabla 6.3.

ENSAYO		NORMA	UNIDAD	140 N	160 N	190 N	1120N
RESISTENCIA TRACCIÓN	TÍPICO	ASTM D 4632	N	625	832	1200	1401
	M.A.R.V		N	530	710	1120	1340
ELONGACIÓN		ASTM D 4632	%	> 50	> 50	> 50	> 50
PUNZONAMIENTO	TÍPICO	ASTM D 4833	N	340	460	615	800
	M.A.R.V		N	300	420	560	780
PUNZONAMIENTO CBR	TÍPICO	ASTM D 6241	N	1330	2487	2980	4400
DESGARRE TRAPEZOIDAL		ASTM D 4533	N	250	338	467	654
			N	220	270	390	510
RESISTENCIA REYENTÓN		ASTM D 3786	Kpa	1550	2294	3652	
APETURA POROS (AOS)		ASTM D 4751	mm	0.212	0.212	0.17	0.15
PERMEABILIDAD		ASTM D 4491	s-1	1.8	1.76	1.1	1
FLUJO DE AGUA		ASTM D 4491	l/min/m2	5500	5280	3560	2648
RESISTENCIA UV (500HR)		ASTM D 4355	%	70	70	70	70
ESPESOR		ASTM D 5199	mm	1.4	1.9	2.5	3.05
GRAMAJE		ASTM D 4355	gr/m2	163	220	325	400
DIMENSIÓN ROLLO		-	m	4 X 110	4 X 200	4 X 100	4 X 100

Tabla 6.3.- Propiedades mecánicas de geotextiles

Dado que los geosintéticos son instalados por proveedores, la selección de la mano de obra y la maquinaria dependerá del subcontratista.

### 6.7.1.5.- Conclusión y recomendaciones

El estudio de valor de este componente permite observar un aumento en el valor, así como una reducción de \$91, 697.13 en el costo de ciclo de vida del proyecto (LCC). Suponiendo que cada una de las alternativas puede generar ahorros de al menos dicha magnitud, se puede especular que el estudio de valor se justifica.

En este caso del geotextil podemos apreciar que el costo funcional incrementa, no obstante, se obtiene una reducción importante en el costo de ciclo de vida en el orden de 23 % más que la idea original. Este aumento en el costo funcional básico se debe a que no es posible (en este caso) reducir el costo en una función secundaria ya que el componente no cuenta con una.

<sup>2</sup> American Association of State Highway and Transportation Officials. Normatividad para diseño de vías de transporte

A partir del estudio de Ingeniería de Valor se hacen las siguientes recomendaciones:

- Poner especial atención en la nueva configuración del cono de derrame
- Supervisar la correcta construcción de trincheras de anclaje para geotextil
- Tratar de utilizar boleos del sitio en enrocamiento sobre geotextil para generar ahorros adicionales en acarreo de material

*Fuentes:*

- *Value Engineering Manual (West Virginia Department of Transportation Division of Highways, 2004)*

## **Conclusiones**

### **1.- Áreas de oportunidad para reducir costos en proyectos**

1.1.- La metodología de Ingeniería de Valor y su aplicación a los proyectos de ingeniería civil es, especulativamente, una propuesta con alto potencial para generar ahorros. Dicho potencial varía en el tiempo, pues mientras más pronta sea la etapa en la que se aplique la metodología descrita, los beneficios podrán ser mayores.

1.2.- Siempre y cuando la metodología se aplique antes de que el proyecto sea aceptado por el cliente, se podrá reducir de manera importante o anular los costos de rediseño.

1.3.- De acuerdo a la variación teórica de ahorros potenciales a lo largo del proyecto, la metodología de Ingeniería de Valor no tiene efectos significativos al aplicarse en la etapa de construcción. No obstante, es posible aplicar el método en dicha etapa con fines preventivos desde el punto de vista financiero.

### **2.- Uso de la Ingeniería de Valor en el campo de la ingeniería civil**

2.1.- Dado que cada proyecto de ingeniería civil es diferente, es imposible determinar una ventaja técnica absoluta entre dos soluciones para un mismo problema, no obstante, para aplicar el método se especula que siempre existe una mejor propuesta.

2.2.- Aunque las propuestas tratadas en el capítulo correspondiente corresponden a la aplicación de la metodología en la fase de diseño, es posible también realizar comparaciones similares en otras fases del proyecto para poder realizar un estudio de valor.

2.3.- Para obtener mejores propuestas es necesario tener claro que el análisis no sólo debe enfocarse en el estudio del costo no recurrente, sino también en los costos recurrentes.

2.4.- Una propuesta es mejor que la solución inicial cuando se demuestra que existe un incremento de valor al implementar dicha propuesta.

2.5.- El costo de usuario es parte de la justificación al elegir una propuesta; aunque este costo no sea cuantificado en la metodología, es una parte importante, pues está relacionado con la percepción de calidad desde el punto de vista del usuario.

### **3.- Condiciones ideales para el aprovechamiento de la Ingeniería de Valor en México**

3.1.- El costo de un proyecto, no sólo se reduce a su costo inicial, durante el ciclo de vida del proyecto se generan costos adicionales al inicial, basándose en éste el análisis de Ingeniería de Valor.

3.2.- De acuerdo con el panorama general de la industria de la construcción en México y su esquema organizacional, es posible introducir la Ingeniería de Valor en los proyectos de infraestructura en México, aunque para ello, las exigencias sean muy grandes.

3.3.- Para hacer posible la introducción y el consecuente aprovechamiento de la metodología es necesaria la aceptación de diversos sectores y organismos de administración de recursos de México, siendo los principales las universidades, los ingenieros de proyecto y la Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

3.4.- El estudio de Ingeniería de Valor requiere especialistas que a su vez estén certificados en Ingeniería de Valor. Uno de los especialistas debe dirigir el plan de trabajo.

### **4.- Bosquejo de la aplicación de la Ingeniería de Valor en el diseño del puente “Las Lajas III”**

4.1.- Es necesario seguir las fases a las que se hace referencia en la descripción de la metodología para obtener un reporte completo de Ingeniería de Valor. Dependiendo el proyecto y la fase en la que esté realizando el estudio será el contenido del documento.

4.2.- Para la correcta implementación de las alternativas desarrolladas y aceptadas, se requiere de una explicación extensiva referente a la función del componente y sus mejoras tanto técnicas como en costos de ciclo de vida del proyecto (LCC)

4.3.- La fase analítica puede ponderarse como la más importante del método, pues es en ésta donde se incentiva la creatividad. La calidad de un reporte de Ingeniería de Valor depende principalmente de ésta fase, lo cual resulta benéfico para los proyectos de ingeniería, ya que se incentiva la creatividad.