

TESIS  
HERRAMIENTAS PARA REDUCIR COSTOS Y PLAZOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA  
DE INTERÉS SOCIAL

Presentado por: Ing. PEDRO NEL BERNAL SUAZA Código 200418029



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Bogotá D. C.

2006

TESIS  
HERRAMIENTAS PARA REDUCIR COSTOS Y PLAZOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA  
DE INTERÉS SOCIAL

Presentado por: Ing. PEDRO NEL BERNAL SUAZA Código 200418029

Asesor: Ing. DIEGO ECHEVERRY CAMPOS Ph. D.



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Bogotá D. C.

2006

## CONTENIDO

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.3 MOTIVACIÓN Y ALCANCE

### 2. ANTECEDENTES

### 3. METODOLOGÍA UTILIZADA

### 4. INSTRUMENTOS APLICABLES EN LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1 INGENIERÍA DEL VALOR

##### 4.1.1 Introducción

##### 4.1.2 Fases

##### 4.1.2.1 Pre-Estudio.

##### 4.1.2.2 Estudio Del Valor.

##### 4.1.2.3 Post-Estudio.

##### 4.1.3 Diagrama FAST

##### 4.1.4 Análisis de la Construccionabilidad AC

4.1.4.1 Objetivos de la Construccionabilidad

4.1.5 Aplicaciones de la IV

## 4.2 COORDINACIÓN MODULAR

4.2.1 Introducción

4.2.2 Racionalización del Proceso Constructivo

4.2.4 Coordinación dimensional modular

4.2.5 Industrialización en la producción de VIS

## 4.3 PROGRAMACIÓN SERIAL

4.3.1 Introducción

4.3.2 Consideraciones generales

4.3.4 Criterios para el control de la programación

## 4.4 CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS. LEAN CONSTRUCTION. PRODUCTIVIDAD

4.4.1 Principios generales

4.4.2 Productividad en la Construcción

4.4.2.1 Factores que tienden a reducir la productividad.

5. ANÁLISIS DE PROYECTOS

5.1 PROYECTOS ANALIZADOS

5.2 METODOLOGÍAS APLICADAS

5.3 MANEJO DE CASOS Y RESULTADOS

6. PROPUESTA DE MODELO INTEGRAL

7. CONCLUSIONES

8. RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS DE SOPORTE

## 1. INTRODUCCIÓN

Para el Estado, el sector de la construcción es prioritario no solo para generar empleo, sino para ayudar a resolver algunos de los problemas importantes en cuanto a obras de infraestructura y edificaciones, incrementando la productividad en el sector mediante la utilización razonable de los recursos que se destinen para su desarrollo.

La productividad en la construcción es la esencia del éxito técnico y comercial de las empresas constructoras. Sin embargo, la poca receptividad al cambio y a la aceptación de tecnologías innovadoras, comprometan el costumbrismo operacional en algunos sectores de la construcción, permitiendo que ciertos elementos básicos de la productividad no se utilicen adecuadamente en beneficio de la calidad, los plazos y los costos de la vivienda en el país.

Es así como el principal objetivo en los proyectos de construcción es alcanzar la mayor eficiencia de los recursos disponibles y procurar que la población de más bajos ingresos tenga fácil acceso a la Vivienda de Interés Social VIS. A nivel nacional, los retos que impone el actual avance tecnológico generan serias reflexiones sobre los nuevos compromisos de gestión gerencial que deberían orientarse hacia la producción de VIS más digna, más eficiente y económica.

### 1.1 OBJETIVOS

Determinar algunas herramientas técnicas y administrativas que resulten útiles para reducir costos y plazos en la construcción de VIS y para mejorar la productividad en la industria de la construcción.

Identificar y analizar las características de algunos procesos y actividades aplicables a la construcción de VIS, para determinar sus costos y los plazos de producción. Analizar dichos procesos y orientarlos hacia la reducción del costo final del producto y de los plazos de ejecución del mismo, sin reducir la calidad final.

También, proponer criterios, procedimientos y alternativas que favorezcan el mejoramiento de la productividad en el sector de la VIS y en sus procesos constructivos, sin afectar la calidad del producto terminado. Analizar algunos proyectos reales para aplicarles las herramientas y establecer una propuesta de modelo integral de procedimientos y criterios para reducir costos y plazos en la construcción de VIS. Conclusiones y recomendaciones

## 1.2 MOTIVACIÓN Y ALCANCE

La industria de la construcción como motor del desarrollo económico del país, genera buenas oportunidades de empleo a un sector de la población y está orientada hacia la construcción de obras de infraestructura de servicios públicos, de diferentes edificaciones y en especial de la VIS. A este proceso concurren factores importantes, algunos de orden institucional y otros tecnológicos. En esta perspectiva, se evalúan algunos aspectos que influyen en la reducción de plazos y costos en la construcción, como los diseños, las tecnologías utilizadas, la calidad, el uso razonable de los insumos y la gestión gerencial.

Desde luego, en este documento se presentan algunas reflexiones y propuestas del autor, tendientes a mejorar la productividad en la construcción de VIS, apoyadas en su experiencia y en los estudios sobre el tema que la vida profesional le ha dado oportunidad de analizar y profundizar, pero que requieren un gran compromiso de quienes las utilicen.

El sector de la construcción es de gran interés para el desarrollo del país, porque además de las consideraciones anteriores, ayuda a resolver la gran demanda de vivienda y otros problemas relacionados con el desarrollo de la edificación. Se busca crear algunos criterios y propuestas para incrementar la productividad en el sector, racionalizar los procesos constructivos y reducir los plazos y costos de construcción de VIS, sin afectar la calidad final de las viviendas.

Para el efecto, se considera costo de la construcción a la estimación económica o valor intrínseco de la construcción misma. El valor se estima como el rango de beneficio o grado de utilidad de la

vivienda para satisfacer las necesidades o el bienestar del usuario. Plazo en la construcción, es el periodo o término de ejecución del proceso constructivo.



## 2. ANTECEDENTES

En nuestro medio, parece que el interés por la reducción de costos y plazos en la construcción de VIS ha sido un propósito algo teórico, pues los beneficiarios o usuarios de estas viviendas nunca tienen oportunidad de participar en estos estudios y evaluaciones. Igualmente, parece que los constructores han sido más pragmatistas que investigadores en este tema. Sin embargo, algunas entidades oficiales ya desaparecidas, como el Instituto de Crédito Territorial y el Banco Central Hipotecario diseñaron, construyeron y financiaron muchas viviendas para estratos socioeconómicos 2, 3 y 4 hasta 1985 y 1993 respectivamente.

En efecto, estas entidades no profundizaron en el estudio e implementación de estrategias para reducir los costos y plazo de ejecución de las VIS. Los pocos esfuerzos para mejorar la productividad en el sector de la construcción, han sido el resultado de requerimientos esporádicos del Estado para atender necesidades inmediatistas, ante calamidades o por interés de los funcionarios de turno.

Por otra parte, el gobierno nacional a través del Departamento Nacional de Planeación DNP y la Organización de los Estados Americanos OEA, mediante el Centro Interamericano de Vivienda CINVA y el Bowncentrum de Colombia, a partir de la década del 60, promovieron estudios y capacitación sobre la productividad en la construcción.

Esas entidades y el Fondo Nacional del Ahorro FNA colaboraron con otros organismos interesados en estos temas y en la productividad en la construcción de VIS, como el Centro Nacional de Estudios de la Construcción CENAC, el Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana INURBE, la Universidad Nacional UN y otras universidades, además de la Sociedad Colombiana de Ingenieros SCI y la Sociedad Colombiana de Arquitectos SCA.

En las últimas décadas, algunos centros de investigación e instituciones oficiales y particulares, como la Mesa VIS de la Universidad de los Andes, que coordina el ingeniero Diego Echeverry Campos asesor de esta investigación, han profundizado en algunas investigaciones sobre este tema.

### 3. METODOLOGÍA UTILIZADA

En la metodología desarrollada en este trabajo de investigación se consideraron actividades como: Identificación y definición del problema y sus objetivos. Exploración bibliográfica en papers, journals y otros textos sobre el tema en estudio y sobre alternativas conceptuales coherentes con los objetivos de la investigación. Estudio y análisis de la información obtenidas. Confrontación de los criterios y alternativas conceptuales.

Interacción continua con el asesor, de acuerdo con el avance del proceso. Evaluación sobre la aplicabilidad de las herramientas propuestas en proyectos reales, selección de esos proyectos y aplicación de las herramientas o instrumentos. Identificación de las características más significativas para reducir precios y plazos en la construcción de VIS. Análisis de los resultados en los proyectos escogidos, luego de aplicar los criterios y metodologías propuestos. Propuesta de modelo integral para aplicar las herramientas analizadas. Recomendaciones y conclusiones.

## 4. INSTRUMENTOS APLICABLES EN LA INVESTIGACIÓN

### 4.1 INGENIERÍA DEL VALOR

**4.1.1 Introducción.** La Ingeniería del Valor IV (Value Engineering) es una metodología de análisis para resolver problemas de reducción de costos y plazos de ejecución en los proyectos, que mejora los requerimientos de desempeño en beneficio de la calidad final y que puede aplicarse a cualquier sector económico, como la industria, el gobierno, la construcción o los servicios.

La IV, el Análisis de la Función AF (Function Analysis), Análisis del Valor AV (Value Analysis) y la Administración del Valor AV (Value Management) son parte de las denominaciones dadas a los procesos conocidos como Metodología del Valor MV (Value Methodology). MORALES PÉREZ, (2004). Esos procesos consisten en una aplicación con un enfoque ordenado de trabajo en equipo, orientado hacia el análisis de la función de costos, a fin de mejorar el valor del producto y racionalizar el diseño. Su utilización es considerada como una estrategia de negocios muy exitosa a largo plazo.

Para fines prácticos, puede afirmarse que la IV promete revolucionar las obras de construcción. Se trata de una técnica de análisis que relaciona los costos de obra y la calidad. Con estas metodologías se evita el recorte de presupuestos que, infortunadamente, algunas veces se hace reduciendo la calidad de los materiales. (Diario Clarín. Buenos Aires. Sección Arquitectura, Ingeniería, Planeamiento y Diseño. Lunes 22 de enero de 2001).

La AV se relaciona con el incremento del valor de un proyecto para el cliente o usuario. Así mismo, se considera que la IV es una parte del proceso de la AV, que orienta su objetivo hacia el incremento del valor en las etapas de diseño y construcción de un proyecto. La AV atiende una franja amplia de

problemas, que incluye el análisis técnico de alternativas. KARDOS G. (1993). La metodología comprende los siguientes aspectos aplicables en la IV:

Identificar los principales elementos de un producto o proyecto.

Analizar las funciones que realizan los elementos del proyecto.

Usar tormentas de ideas para desarrollar diseños o propuestas alternativas, a fin de ejecutar esas funciones.

Evaluar las alternativas para asegurar que no se degrade el proyecto.

Asignar costos a cada una de las alternativas más prometedoras.

Desarrollar recomendaciones aceptables para implantar las alternativas que se proponen.

**4.1.2 Fases.** Mediante la aplicación de los procedimientos y técnicas ya descritas, se construye el Plan de Trabajo de la IV, el cual establece varias fases y cubre tres períodos de actividades secuenciales: el Pre-estudio, el Estudio del Valor y el Post-estudio. KARDOS G. (1993). Conforme va progresando el estudio, se va generando nueva información, lo cual puede conducir a que el equipo regrese a alguna etapa de una fase previa.

**4.1.2.1 Pre-Estudio.** Es la etapa de preparación que incluye la definición de los requerimientos del cliente, el acopio de la información del proyecto, la determinación de los factores de evaluación, el alcance específico del estudio, la construcción de modelos apropiados y la determinación de la composición del equipo. La posición del cliente se establece mediante el enfoque del grupo de trabajo o por medio de investigaciones en el mercado.

Tiene como objetivos: definir y evaluar la importancia de las características del proyecto; determinar el rango de debilidades percibidas por el diseñador o el usuario y sus inquietudes acerca del proyecto; comparar el proyecto con otras alternativas similares y utilizar los resultados para identificar incompatibilidades en la fase de información.

Acopio de la información del proyecto. Existen fuentes primarias de información como el diseñador, el equipo que hace las estimaciones de costos, los trabajadores y los consultores; y secundarias como las normas de ingeniería y diseño, las regulaciones, los resultados de pruebas y los reportes de fallas.

Factores de evaluación. El equipo de trabajo determinará cuál será el criterio de evaluación de las ideas y la importancia relativa de cada criterio para las recomendaciones finales y decisiones de cambio. Así mismo, establecerá los alcances o límites del estudio, para luego definir lo que no está incluido en el estudio. El equipo debe construir y recopilar los modelos para la comprensión amplia del estudio. Se incluirán modelos, tales como los costos y los plazos.

**4.1.2.2 Estudio del Valor.** Este estudio constituye la aplicación de la MV, cuyas fases son: Información, análisis de la función, creatividad, evaluación, desarrollo y presentación.

Información. Su objetivo es completar los datos del Pre-estudio y los interrogantes surgidos durante la investigación previa. Análisis de la función. La definición de la función y su análisis es el corazón de la Metodología del Valor. Su objetivo es desarrollar las áreas de mayor beneficio para continuar el estudio, con los siguientes pasos:

Identificar y definir las funciones de trabajo, utilizando verbos activos y características commensurables; esto se denomina Definición de la Función Aleatoria.

Construir un modelo de la función lógica (Function Analysis System Technique , FAST) para clasificar la función como básica o secundaria y asignar costos u otro criterio de medida a las funciones.

Identificar las funciones importantes, mediante la posición del usuario, establecida previamente para la función.

Comparar los costos para esas funciones, a fin de instaurar la mejor alternativa de mejora.

Seleccionar las funciones para el análisis continuado y para clarificar el alcance del estudio.

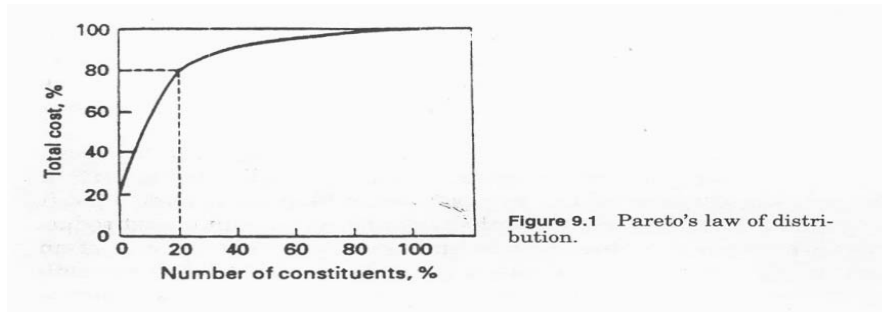


Grafico 1. Modelo de Pareto

Fuente: Estimating Value Engineering for FHWA.2005

Creatividad. El objetivo de esta fase, fase de especulación, es desarrollar una gran cantidad de ideas para seleccionar las funciones por el estudio. Este es un esfuerzo creativo, ajeno a hábitos, tradiciones, actitudes negativas y criterios específicos.

Hay dos claves para el éxito en la fase creativa: la primera, el propósito de esta fase no es concebir la manera de diseñar, sino desarrollar procesos para ejecutar las funciones seleccionadas; y la segunda, la creatividad, que es un proceso mental en el cual las experiencias anteriores se complementan para formar nuevas combinaciones que cumplan con las funciones deseadas al menor costo y mejoren el nivel de desempeño anterior. Hay varias técnicas para la generación en la fase anterior y para seleccionar ideas factibles de desarrollar, en busca de la mejora del valor.

Evaluación. Utilizando el criterio de evaluación establecido en el Pre-estudio, las ideas son clasificadas y evaluadas de acuerdo con el cumplimiento de esos criterios. En este proceso se eliminan las ideas absurdas y se agrupan por categorías de acuerdo con implicaciones a largo y corto plazo; se enumeran las ventajas y desventajas de cada idea y se jerarquizan las ideas dentro de cada categoría, de acuerdo con la prioridad del criterio de evaluación mediante técnicas como la indexación, evaluación numérica y consenso del equipo. Al final se seleccionan las ideas para desarrollar la mejora del valor

Desarrollo. Se selecciona y prepara la mejor alternativa para la mejora del valor. Los datos deducidos del análisis de las alternativas, proporcionan tanto información técnica de costos y de

programación, como aplicación práctica para que el diseñador y patrocinador del proyecto hagan una evaluación inicial factible para implantarla: empezar con la alternativa mejor jerarquizada y un análisis de beneficios, estimando los costos de implantación, el riesgo y la incertidumbre.

Para el análisis de beneficios, se compila un paquete de datos técnicos para cada alternativa propuesta, se muestran datos de costos y desempeño que identifiquen las diferencias entre el diseño original y las alternativas propuestas y se utiliza cualquier técnica de respaldo de datos como fuentes de información, cálculo y literatura.

Después, resumir el impacto del programa y preparar un programa de implantación de las actividades propuestas, asignación del equipo y requerimientos de la dirección; y completar las recomendaciones, incluyendo cualquier condición única para el proyecto en estudio, como tecnología emergente, impacto en otros proyectos en curso, planes de comercialización, etc.

Presentación. Su objetivo es obtener el consentimiento y compromiso del diseñador o patrocinador del proyecto, para proceder a implantar las recomendaciones. Como última tarea, el equipo presenta sus recomendaciones a quien toma decisiones. A través de la presentación y su discusión interactiva, el equipo obtiene la aprobación para la implantación o solicitud de información adicional.

**4.1.2.3 Post-Estudio.** El Post-estudio asegura la implantación de las recomendaciones de cambio aprobadas en el estudio del valor. Cada alternativa será diseñada y confirmada en forma separada, antes de implantarla, incluyendo los cambios contractuales, si se requieren.

**4.1.3 Diagrama FAST.** La técnica de FAST, que se usa en IV para analizar costos, consiste en analizar la estructura funcional de un sistema técnico y significa Técnica Sistemática de Análisis Funcional FAST. Fue concebida para organizar y representar las relaciones funcionales de un sistema técnico. Comprende cinco fases: Listado de funciones, Organización, Caracterización, Ordenación jerárquica y Evaluación



Para elaborar un diagrama FAST, todas las funciones conocidas que se asocian con el sistema técnico deben ser identificadas y son una combinación de verbo y sustantivo. El verbo debe ser activo, que describa los efectos físicos dentro del sistema. El sustantivo debe ser descriptivo y general, es el operante sobre el cual la función toma lugar. En este proceso deben estimularse las alternativas creativas. SPERLING, Roger B. (1993).

Las funciones se clasifican como básicas las del sistema técnico y secundarias o funciones de soporte, todas las demás funciones que hacen parte del sistema técnico y apoyan la función básica. El análisis de funciones determina cada rutina de un proyecto y sus características (funciones), las cuales están relacionadas con el costo-diseño. Las funciones preparan al equipo para la creatividad. Ellas cierran el espacio entre la información y las fases de creatividad. KARDOS G. (1993).

**4.1.4 Análisis de la Construccionalidad AC.** El AC es un proceso sistemático para asegurar que un proyecto de construcción posea técnicas claras y factibles para su ejecución. El propósito del AC durante el desarrollo del proyecto es asegurar que los proyectos sean ofertables, construibles, rentables y mantenibles. Constructibility Review Guidelines Appendix B. (2003).

El proceso de AC se inicia al comienzo del proyecto y continúa durante su desarrollo. Los resultados son incorporados durante la planificación del proyecto y otras durante su desarrollo. La combinación de las revisiones constituye el proceso del AC, que involucra el uso óptimo de conocimientos sobre la construcción y experiencia en la planificación y desarrollo de un el proyecto

Una de las metas primarias del AC es fomentar una gran participación del personal de construcción durante la planificación y desarrollo del proyecto. Son importantes los aportes y comentarios que sobre la construccionabilidad, hagan el ingeniero residente y su personal, a lo largo del desarrollo de proyecto. Es ineficaz hacer la revisión del AC en las últimas fases del diseño. Al final del desarrollo del proyecto, se emplean recursos significativos del diseño. Esos cambios en la última fase son costosos para implementar, tienen un efecto importante en el programa del proyecto y pueden crear conflictos con las licencias aprobadas y otros compromisos.

La Ofertabilidad (Biddability) Constructibility Review Guidelines Appendix B y E. (2003), que hace parte del proceso del AC, es un conjunto de actividades cuyo objetivo es revisar los documentos del contrato para identificar errores, omisiones y conflictos en planos, especificaciones y programación. Esas revisiones identifican la incertidumbre y minimizan los riesgos no cuantificables. El estudio de la ofertabilidad se requiere en todos los proyectos y se completa después que las decisiones finales estén incorporados al proyecto. KARDOS G. (1993).

La revisión de campo debe completarse, incluyendo diseño, construcción, materiales, personal de obra y otros temas propios del proyecto específico, para identificar los problemas de construccionabilidad. Después, durante el desarrollo del proyecto se definen las alternativas de soluciones y costos y se refina la estimación. Es conveniente que el constructor participe en este proceso y aporte sus experiencias. Las revisiones de construccionabilidad y sus conclusiones deben ser implementadas.

**4.1.4.1 Objetivos de la Construccionabilidad.** Los objetivos más significativos de este proceso son: reducir los costos, cambios, trabajos adicionales y las posibles adiciones al contrato; fortalecer la calidad del proyecto; mejorar y acortar los plazos de ejecución y la seguridad de la construcción; revisar los proyectos durante el diseño para reducir los problemas de la construccionabilidad y promover su conocimiento; minimizar molestias públicas e intromisión en asuntos de la comunidad y fortalecer la compatibilidad entre los requisitos medioambientales y las prácticas de la construcción. . Value Engineering for FHWA. Federal-Aid Highway Program. (2005)

Este proceso puede causar pequeños incrementos en los costos de planeación, los cuales serán mínimos, comparados con el ahorro de costos logrados por la reducción de demandas al constructor. Aquí, el dueño es el líder del proyecto y debe participar activamente en las revisiones de la construccionabilidad.

Se considera entonces, que los indicadores de éxito para la construccionabilidad son, entre otros, mejores diseños y especificaciones, menos órdenes de cambio en los contratos, menos reclamos del contratista por plazos y pagos y mejoras en eficiencia y productividad. El propósito de la Ingeniería

del Valor es maximizar la cadena de valor de la empresa, identificando la reducción de costos, el tiempo del ciclo de los productos y servicios y generando competitividad.

**4.1.5 Aplicaciones de la Ingeniería del Valor.** De lo anterior, puede deducirse que la Ingeniería del Valor es un análisis de la operación de un producto o servicio, estimando el valor de cada operación e intentando mejorar el valor, para reducir los costos en cada etapa del proceso. Se busca reducir los costos de producción, analizando todo el proceso productivo, para luego descomponerlo en etapas, calculando en cada una los costos fijos y variables. Después se propone racionalizar dichos costos, combinando ciertas acciones, reemplazándolas por otras o sustituyendo las que no sirven.

Conjuntamente con los trabajadores, deben buscarse mecanismos y formas de simplificación del trabajo. Con ellos, dada su experiencia y la cotidianidad con que ellos vienen probando y errando en su trabajo, se definen propuestas concretas. Para el efecto, se los capacita en análisis ocupacional y con ellos se analizan los plazos y movimientos de ejecución, para luego plantear las simplificaciones, sin que se reduzca la calidad del producto.

## **4.2 COORDINACIÓN MODULAR CM.**

**4.2.1 Introducción.** La industrialización en la construcción está cambiando la naturaleza de la actividad edificadora en muchos países. La mecanización y los métodos de ensamblaje están reemplazando las formas tradicionales de construcción. En nuestro medio se espera que los ciclos de producción de la VIS sean consecuentes con la demanda, pero su costo, los sistemas de financiación y la estabilidad laboral de los futuros compradores de la VIS no son consecuentes con la demanda. CIB REPORT No. 68 (1984)

En esta perspectiva, la CM, como conjunto de normas de concepción dimensional para posibilitar la intercambiabilidad de los elementos constructivos que se ensamblan, es uno de los elementos esenciales para el desarrollo de la industrialización en la construcción. La CM es la clave para la industrialización de la construcción, pues son normas coordinadas para asegurar su intercambiabilidad. El uso de las partes coordinadas dimensionalmente, cambia el enfoque del proyecto y los métodos de trabajo. La elaboración de los proyectos se basa en dimensiones normales, las cuales tienen en cuenta componentes disponibles y métodos de ensamble.

El principio de la CM se aplica a los métodos modernos de planeamiento de obras y a la fabricación de los materiales o insumos que se utilizan en los procesos de construcción. El objetivo es seleccionar los componentes modulares, clasificarlos y utilizarlos de manera coordinada en el proceso de ensamblaje, durante la construcción.

En efecto, la CM es un procedimiento de diseño que simplifica y coordina las dimensiones de los elementos de construcción, basado en la coordinación dimensional que emplea un módulo básico o un múltiplo. El módulo es la unidad de medida usada en la CM, con medidas y tolerancias razonables que permiten ajustes en los procesos constructivos. REPORT No. 68 (1984). Paralelo al crecimiento de la mecanización y producción industrial de los insumos de la construcción, va el desarrollo de la normalización aplicada a los procesos y objetivos de los proyectos.

**4.2.2 Racionalización del Proceso Constructivo.** La CM se refiere a la racionalización de los procesos de construcción. Las dimensiones de los elementos utilizados en la construcción son coordinadas para asegurar la flexibilidad en su uso, combinado con la facilidad de producción. Al emplear elementos que tengan dimensiones normalizadas, todo el sistema se simplifica.

El componente modular debe dimensionarse para encajar en el espacio modular normalizado y con cada uno de los otros componentes. Los tamaños de los componentes se determinan con anterioridad. La coordinación de tamaños y perfiles es un requisito adicional para la intercambiabilidad de los componentes modulares.

La coordinación de los componentes modulares en un edificio, se facilita cuando se usa un sistema modular de referencia durante la etapa de diseño. La mejor alternativa para una construcción basada en un tiempo o plazo tipo, es el componente intercambiable normalizado.

La CM puede aumentar la eficiencia económica del proyecto, facilitar el trabajo del constructor y la producción del fabricante. A su turno, el cliente se beneficiará con una construcción mejor y más barata y obtenida en un tiempo más corto del previsto. Los nuevos métodos de construcción y el empleo de nuevos materiales y componentes, requieren nuevos sistemas de unión que faciliten la intercabiabilidad.

**4.2.3 Coordinación Dimensional Modular.** Los componentes modulares, se predeterminan teniendo en cuenta sus ventajas para que el constructor pueda hacer un ensamblaje sencillo. La CM, que optimiza el número de componentes y reduce los costos de construcción. Debe promoverse en los países con industrialización incipiente, pues allí están en mejores condiciones para implantar estas normas y criterios. El ensamblaje ordenado de los componentes, cambia el carácter de los métodos constructivos. Así mismo, las técnicas rápidas y simples de montaje, sustituyen operaciones de construcción complicadas y lentas.

**4.2.4 Industrialización en la Producción de VIS.** Se considera módulo a una unidad estándar de tamaño usada para coordinar dimensiones de componentes en edificaciones. La prefabricación abierta, aplicada a la construcción masiva de VIS, debe partir de un módulo básico de 100 m. m. Se estimula la industria de prefabricados modulares, la cual debe cumplir normas mínimas de calidad, diseños funcionales y promover procesos de investigación con seguimiento a los resultados de pruebas y ensayos, para garantizar la calidad esperada.

La CM tiene algunas ventajas prácticas, dependiendo del tamaño y naturaleza del proyecto, del punto de vista del diseñador y del constructor, como reducir el desperdicio al eliminar los cortes en su instalación y mejorar la productividad mediante el uso de componentes modulares y reducir los

que sean incompatibles. Generar economía en la distribución de los componentes del sistema, al usar un “lenguaje” dimensional común. Aportar posibilidades de intercambio de componentes y contribuye a la libertad de diseño con el uso de componentes estandarizados y generar más continuidad en el diseño y en los procesos constructivos y una disciplina de planeación.

### 4.3 PROGRAMACIÓN SERIAL PS

**4.3.1 Introducción.** La PS es una técnica para la planeación, dirección y ejecución de proyectos de construcción que facilita la evaluación de lo ejecutado, genera capacitación, entrenamiento y apoyo técnico y logístico a la mano de obra y facilita la supervisión y control de los procesos constructivos y de la calidad.

Con esta técnica se estimula y aprovecha la destreza que adquiere el trabajador durante la ejecución repetitiva de las actividades a su cargo. Se mejoran los plazos de ejecución de esas actividades, se facilita el control y supervisión de los costos de la mano de obra y se asegura y facilita el control de las actividades en ejecución.

Con frecuencia es posible normalizar los componentes de una serie de producción, con lo cual se consigue prolongar esas series e invertir menos tiempo en los procesos, esto es planificar y controlar. Los riesgos de ineficiencia pueden reducirse con un seguimiento continuo y exigente. En consecuencia, después de verificar que la cuadrilla o el trabajador adquirieron la destreza requerida para alcanzar un alto rendimiento, se obtiene el tiempo mínimo estimado, equivalente a la productividad ideal del proceso constructivo.

Desde luego, si un trabajador es adiestrado previamente en la ejecución de sus tareas, se reduce su tiempo improductivo. Esto significa que es necesario planificar los programas de trabajo, mejorar y simplificar los diseños y hacer más simple y ágil su ejecución. Es indudable que la supervisión y

control son necesarios e importantes en la programación. Más aún, la programación facilita el control, uso y manejo de todos los insumos.

**4.3.2 Consideraciones generales.** Esta técnica será exitosa si hay buena planeación, si se analiza la incidencia de algunos aspectos que dependen del número de sectores del proyecto y de la simultaneidad con deben desarrollarse; de los frentes de trabajo de cada sector, la velocidad de la construcción y la organización del contratante y la interventoría; del manejo administrativo de los contratos a celebrar; y del mercado de los insumos requeridos para ejecutar las obras, de acuerdo con las características del proyecto.

Además, el contratante debe analizar el desarrollo del proyecto, de manera que en su ejecución no se incurra en condiciones contractuales controvertibles, velocidades de construcción extremas que impidan alcanzar los objetivos iniciales o desorganización en la ejecución de los trabajos, generada por improvisación en la organización de las obras.

Durante el seguimiento y control de las obras en ejecución, debe considerarse que puede haber varios frentes de trabajo paralelos o independientes. Que en lo posible se inicien simultáneamente o con intervalos mínimos y que esa simultaneidad implica independencia en la utilización de los recursos, para que el paralelismo conduzca a la emulación. Para el efecto, debe balancearse la ejecución de los trabajos, optimizar los plazos de ejecución, los costos de operación y ejecutar ordenadamente.

Es muy importante aprovechar la característica repetitiva en la ejecución de las actividades de obra, que es el principio fundamental de la industrialización y que se fundamenta en ejecutar los trabajos en serie y en paralelo y conformar razonablemente las cuadrillas de trabajo y entrenarlas en la ejecución de cada actividad; en asignar funciones, atribuciones y responsabilidades a personas definidas y repetir labores específicas en ciclos preestablecidos, aumentar el rendimiento de la mano de obra, así como su pertinencia y continuidad laboral.

También, en reducir prudentemente el personal de mano de obra, según su desempeño y el avance de las obras, para luego ejecutar de manera ordenada la supervisión y control. Debe incrementarse la productividad en el desarrollo de las obras para que el aprendizaje progresivo en cada actividad y el mejoramiento de la calidad, conduzcan a mejorar la productividad.

**4.3.3 Criterios para controlar la programación.** Es importante controlar la secuencia lógica en los procesos constructivos de cada frente de trabajo. Para efectos de la programación, cada frente de trabajo de edificaciones tendrá 4 ciclos o etapas de construcción: Subestructura, Superestructura, Cubierta y Acabados. Se requiere que cada ciclo tenga cuadrillas especializadas que repiten de manera ininterrumpida y constante, una misma labor.

Las actividades de la subestructura se desarrollan horizontalmente en la serie, siguiendo el orden preestablecido, actividad por actividad; una misma cuadrilla las ejecuta progresivamente hasta completar todas las actividades en cada frente de trabajo y desplazándose en toda la serie.

Para la superestructura se debe disponer de una holgura por terminación adelantada, suficiente para garantizar la continuidad que requiere el proceso constructivo. Las actividades a ejecutar son típicas y se repiten tantas veces como unidades o edificios tenga la serie. La cuadrilla debe encontrar terminada la actividad precedente, con anticipación, así como todos los recursos que sean necesarios para cada actividad.

Es indispensable terminar las losas superiores para ejecutar la cubierta inmediatamente. La mampostería de cada edificio comienza en el último piso y las cuadrillas de cubiertas se desplazan horizontalmente, de edificio en edificio a través de la serie, para luego iniciar las actividades de acabados, con los mismos criterios de series y cuadrillas.

La secuencia lógica en la ejecución de las actividades, la repetitividad que les es característica y el adiestramiento que alcanzan las cuadrillas, luego de ejecutar una actividad por tercera vez, son factores esenciales para el logro de los objetivos propuestos. Debe preverse que las condiciones



meteorológicas excesivas pueden afectar los rendimientos, la programación y ciertas técnicas constructivas, como la lluvia excesiva, que puede generar desperdicios por pérdida de los insumos instalados en la obra.

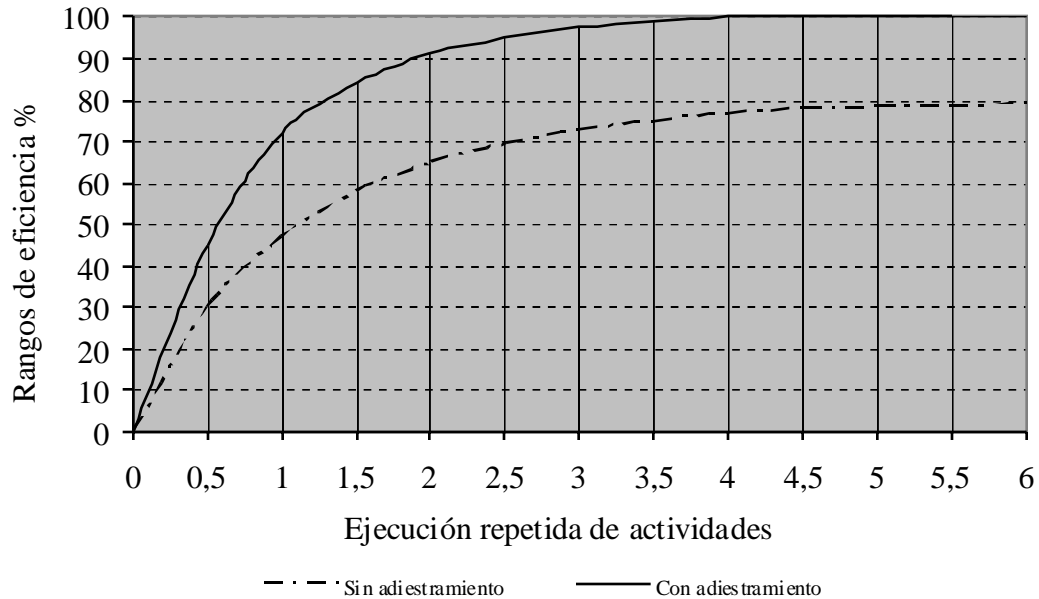


Gráfico 2. Curva de Aprendizaje

Paralelamente con el proceso constructivo debe hacerse un control detallado del desarrollo de la obra, teniendo en cuenta los criterios del programador y la disponibilidad de recursos e insumos. El constructor deberá organizar y poner en ejecución los mecanismos de control más eficientes. En cada frente de trabajo se hará seguimiento rígido a la ejecución de los trabajos, especialmente sobre las actividades de la ruta crítica.

Los sistemas de control deben ser tan eficaces y prácticos para asegurar la toma de las decisiones preventivas o correctivas más convenientes. La velocidad de construcción será consecuente con la eficiencia y la organización. La terminación anticipada de las actividades reduce los costos administrativos y generales, ya fueron incluidos en el AIU.

#### 4.4 CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS. LEAN CONSTRUCTION. PRODUCTIVIDAD.

**4.4.1 Principios generales.** La filosofía del Lean Construction LC o Construcción Sin Pérdidas CSP, busca optimizar el uso de los recursos, costos y plazos de ejecución de los proyectos, a partir de la producción sin pérdidas. Se trata de procurar la eliminación de las pérdidas en los procesos productivos y minimizar los desperdicios en las obras. Estas son técnicas sencillas que facilitan identificar las pérdidas, mejorando la productividad en el desarrollo de los proyectos y la competitividad en la industria de la construcción. SERPELL B. A. (2004).

La competitividad se mejora fortaleciendo el sistema de producción e integrando las actividades y los procesos, los cuales agregan valor al producto final, mediante la reducción de las pérdidas. Si esas actividades consumen tiempos no contributivos, es decir, no productivos, temporales o no necesarios, es obvio que no generan valor ni mejoran los procesos productivos, pero si aumentan los costos del proyecto.

Por múltiples razones, los contratantes enfatizan en los plazos y los costos, exigiendo alta calidad. Más aún, buena parte de los diseñadores no consideran los aspectos de construccionabilidad para lograr que sus diseños sean apropiados y fáciles de ejecutarse a costos razonables.

En efecto, es común que no se cuestionen los métodos de trabajo comunes por considerar eficiente lo tradicional, sin importar que esto no estimula propósitos saludables para mejorar el desempeño de las empresas constructoras y el éxito de sus proyectos. No obstante, se ha detectado la necesidad de mejorar mediante estrategias, como mayores exigencias de calidad por parte del contratante y de los usuarios de los proyectos y por la presión para reducir los plazos y costos de los proyectos.

De hecho, se deduce que es necesario un control rígido a partir de una planificación sistemática, mejorando la confiabilidad y reduciendo la incertidumbre en los grupos de trabajo. Más aún, su desempeño mejora mediante controles de planificaciones intermedias en el plan maestro del proyecto

En general, los proyectos están sujetos a incertidumbres por los permanentes cambios tecnológicos, las oportunidades de mercado y las acciones de la competencia. Por tanto, las organizaciones constructoras deben ser cuidadosas en identificar los eventos que afecten la productividad y en las estrategias para controlarlos y evitarlos.

Las empresas constructoras deben promover al interior de su organización la cultura de medición de su desempeño, así como el compromiso de mejoramiento y superación en los proyectos de construcción. Por consiguiente, la productividad compromete al equipo de trabajo de un proyecto en la producción de altos niveles de desempeño empresarial.

Con el sistema tradicional de producción no es fácil identificar las pérdidas. Sin embargo, conviene implementar un nuevo enfoque en la producción (Lean Production), en donde se identifiquen las pérdidas y se implementen los correctivos necesarios para mejorar la productividad y la competitividad en las empresas del sector, de manera que se incluyan nuevas mediciones de desempeño, diferentes de las tradicionales costo y tiempo.

Esto implica mejorar la capacitación del personal de producción (administradores de obra, maestros, supervisores de obra) en los conceptos fundamentales y en las herramientas que deban utilizar; y que la dirección de la empresa de apoyo para desarrollar la filosofía de "sin pérdidas", como estrategia empresarial de mejoramiento.

En esta perspectiva, puede afirmarse que la globalización y el mercado variable exigen que la industria de la construcción y sus profesionales se adapten a las nuevas estrategias de gestión en la construcción. Es cuestión de supervivencia. Esto significa que la alta rotación de personal en esta industria, limita la capacidad de aprendizaje de los funcionarios, obreros y de las mismas organizaciones. Igualmente, la fragmentación propia de la industria de la construcción no estimula el desarrollo y la innovación, por tanto, se dificulta asimilar nuevos conceptos y se mantiene la resistencia al cambio.

**4.4.2 Productividad en la Construcción.** La productividad es la capacidad o grado de calidad de la producción en un proceso competitivo; puede decirse que producción es un evento industrial de transformación, en el cual los elementos o factores de elaboración tienden a mejorar la calidad del resultado o producto final. En esta perspectiva, es evidente que el logro de la productividad involucra la eficiencia y la efectividad, pues en los procesos constructivos no tiene sentido producir una cantidad de obra con problemas de calidad o eficiencia. BOTERO L. F. (2004).

En la industria de la construcción hay algunos factores que afectan la productividad, como errores en los diseños o deficiencia de especificaciones; modificaciones a los diseños iniciales durante la construcción y ejecución de obras con diseños incompletos. Igualmente, la afectan el deficiente mantenimiento de equipos y las interrupciones no planeadas, la alta rotación de trabajadores y las deficientes condiciones de seguridad industrial, las cuales, a su vez, generan altas tasas de accidentalidad.

Desde luego, hay factores positivos para mejorar la productividad, como programas para capacitar la mano de obra y mejorar la seguridad industrial en la obra; la planificación en la ejecución de actividades por la administración de la obra y la revisión de diseños para una ejecución más simple (construccionabilidad); así como la supervisión de los trabajos y los estudios de plazos y métodos constructivos.

Así mismo, la continuidad del trabajo es indispensable para mejorar la productividad. En efecto, cuando las actividades constructivas son similares, es usual que sean ejecutadas por las mismas cuadrillas, sin interrupciones y mejorando la productividad. Si la administración de obra es eficiente, con la planificación continua en todos los frentes se aprovecha al máximo el aprendizaje logrado. Pero también es importante evitar o reducir los desperdicios y racionalizar el uso de la maquinaria y equipos para evitar tiempos muertos.

Por eso, cuando baja la productividad es necesario identificar las causas, analizarlas y evaluarlas, para luego tomar las medidas correctivas o preventivas necesarias. Esas causas pueden ser las esperas y el tiempo ocioso o no contributivo; los desplazamientos innecesarios y las pérdidas en los

sistemas de producción; las deficiencias en los diseños y en la administración; los métodos de trabajo inadecuados y los problemas de seguridad industrial; los reducidos sistemas de control y la falta de control en los desperdicios.

**4.4.2.1 Factores que tienden a reducir la Productividad.** La productividad de un proyecto puede reducirse por dificultades en la construcción del proyecto, complejidad del diseño y por diseños inexactos e incompletos que generan interrupciones en el proceso; por pérdidas de hora-máquina o de hora-hombre y por desperdicios de materiales y otros insumos; por falta de normalización dimensional y por la diversidad de insumos similares. También puede reducirse la productividad por aplicar normas de calidad incorrectas o equívocas, por usar materiales de baja calidad o herramientas inadecuadas, que conducen a bajos rendimientos y riesgos peligrosos.

En efecto, puede deducirse que la productividad es plena cuando se logra eliminar movimientos o acciones de tiempo y esfuerzos en condiciones poco eficientes; por los procesos que incorporan trabajo complementario innecesario; por falta de secuencia lógica o continuidad en las operaciones; por falta de mantenimiento en las instalaciones, maquinaria y equipo, lo cual produce interrupciones, desperdicios de insumos, repetición de trabajos y tiempo improductivo.

Por la misma razón, la falta de precauciones adecuadas para garantizar la seguridad del trabajador, origina pérdida de tiempo por accidentes que podrían evitarse; cuando en la obra se cumplen las normas sobre la seguridad industrial y sobre los beneficios de la seguridad social del trabajador, se reducen los tiempos improductivos, se alcanzan tiempos mínimos de ejecución en los procesos constructivos y la productividad será ideal. Por consiguiente, cuando el objeto de un ejercicio de ingeniería de costos sea reducir los costos de un proyecto global, es necesario seleccionar una duración del proyecto que esté acorde con el costo mínimo.

Tabla 1. Características de las herramientas utilizadas

Ingeniería Del Valor	<p>Técnica de análisis de proyectos para reducir costos y plazos en su ejecución y mejorar su valor. Objetivo: Rediseñar procesos para agregar valor, maximizar la cadena de valor de la empresa y generar competitividad.</p> <p>A partir del análisis de funciones, sus etapas son:</p> <p>1- Pre-estudio: Información, características y evaluación.</p> <p>2- Estudio: Análisis de información y función, creatividad, evaluación, desarrollo y presentación.</p> <p>3- Post-estudio: Facilitar implantación del estudio del valor.</p> <p>Construccionabilidad: Proceso para asegurar que un proyecto es construible, ofertable y mantenible.</p>
Coordinación Modular	<p>Normas de concepción dimensional para garantizar la intercambiabilidad de elementos.</p> <p>Procedimiento de diseño para simplificar y coordinar las dimensiones de los elementos de construcción. Simplifica el proyecto y reduce tiempos improductivos.</p>
Programación Serial	<p>Técnica para planear, dirigir y ejecutar proyectos de construcción y facilitar la evaluación de lo ejecutado. Previo adiestramiento, se estimula la ejecución repetitiva de las actividades, mediante la destreza que adquiere el obrero. Mejora de los tiempos de ejecución y sus costos. Facilita el control de los costos de la mano de obra.</p>
Construcción Sin Pérdidas	<p>Técnica para optimizar el uso de recursos, costos y plazos de ejecución en proyectos de construcción, a partir de la producción sin pérdidas. Para mejorar la productividad y la competitividad en la industria de construcción, deben minimizarse los desperdicios, y promover dentro de la empresa la filosofía de "sin pérdidas".</p>

## 5 ANÁLISIS DE PROYECTOS

### 5.1 Proyectos analizados

Para este estudio se analizaron tres proyectos de VIS, sin incluir obras de urbanismo y se dispuso de información suficiente.

Proyecto 1. Bosques de San José, 36 casas de dos pisos, terminadas en junio/2006. Manzana H, Usme, Bogotá. Proyecto 2. Agrupación Alcaparros, 24 edificios de cinco pisos, 480 apartamentos, inició en junio/1996 y terminó en agosto/1997. Manzana 32, Ciudadela Colsubsidio, Bogotá.

Proyecto 3. Agrupación La Palmacera, 13 edificios de cinco pisos, 260 apartamentos inició en febrero/1995 y terminó en mayo/1996, Manzana 11, Ciudadela Colsubsidio, Bogotá.

### 5.2 Metodologías aplicadas

En este estudio se aplicaron las siguientes herramientas a los tres proyectos: Ingeniería del Valor IV, Coordinación Modular CM, Programación Serial PS y Construcción sin Pérdidas CSP. La metodología general y procedimientos fueron: Definir el problema y sus objetivos. Exploración bibliográfica sobre el tema y alternativas conceptuales. Estudiar y analizar la información obtenida. Confrontar los criterios y alternativas seleccionadas y complementarlos con las experiencias profesionales del autor. Evaluar la aplicabilidad de las herramientas propuestas en proyectos reales. Identificar los procesos y técnicas más significativas para reducir precios y plazos en la construcción de VIS. Seleccionar los proyectos, aplicar las herramientas propuestas a esos proyectos y hacer seguimiento al proceso. Analizar los resultados de los proyectos evaluados. Elaborar propuesta de modelo integral para aplicar las herramientas elegidas a nuevos proyectos. Conclusiones y recomendaciones.

La metodología implementada para cada una de las herramientas elegidas fue: Para IV: analizar la información existente y desarrollar la fase creativa con el análisis de Pareto, el análisis de función y la tormenta de ideas. Evaluar las alternativas de sustitución y mantener las que generaron mayor valor. Analizar las alternativas seleccionadas, diseñar las soluciones de mayor impacto, analizar costos y función. Implementar las alternativas escogidas. Analizar la construccionabilidad, diseños, costos, resultados numéricos y gráficos. Actualizar cantidades de obra, precios unitarios, sustituciones de la propuesta.

Para CM: analizar la racionalización de procesos constructivos. Evaluar desperdicios, productividad, alternativas de diseños y calidad en la construcción por incorporación de componentes industrializados. Analizar los diseños resultantes por la incorporación de componentes modulares en proyectos.

Para PS: determinar la magnitud de las series. Evaluar la simultaneidad en los frentes de trabajo y la velocidad en la ejecución de los trabajos. Analizar la conformación de cuadrillas, su especialización al ejecutar obras, la reducción de mano de obra y el incremento en productividad; el avance en la ruta crítica e implementar mecanismos de control.

Para CSP: Analizar la capacitación de la mano de obra, evaluar reducción de pérdidas y desperdicios en procesos productivos e identificarlas. Desarrollar la filosofía de "sin pérdidas" y el sentido de autocrítica. Eliminar las actividades que no generen valor, optimizar, evaluar la productividad lograda y reorganizar los procesos de producción.

### 5.3 Manejo de casos y resultados

Como los proyectos VIS deben ser económicos, antes de construirlos son analizados en detalle para reducir costos y ser competitivos en el mercado de ofertas.



*Proyecto 1.* Ubicado en una manzana regular con casas pareadas, en dos series de 18 casas. Hubo seguimiento al proceso constructivo de febrero a mayo/2006. Propietario, constructor y comercializador eran la misma persona, con una organización pequeña, sin interventoría pero receptivos. La obra inició en noviembre/2005 y terminó en junio/2006.

Se aplicó la metodología prevista para IV: se estudió la información existente y se desarrolló la fase creativa con el análisis de Pareto, análisis de función y tormenta de ideas. Se evaluaron alternativas de sustitución, manteniendo las de mayor valor. Como resultado, se propuso el cambio del bloque estructural inicial por otro más largo y más alto, con mayor rendimiento; se propuso el cambio de la escalera con huellas de concreto apoyadas en ángulos metálicos, por otra metálica, eliminando los prefabricados, los ángulos de acero y algo de mampostería; el lavaplatos en granito se cambió por una tapa completa de acero inoxidable y la ventanería de lámina se propuso cambiarla por otra de PVC. Se analizaron las alternativas seleccionadas y se diseñaron las soluciones con análisis de costos y función. Por el avance de la obra, solo se implementó la alternativa del lavaplatos. Se actualizaron cantidades de obra y precios unitarios.

Se aplicó la metodología prevista para CM: los resultados fueron simples por ser un proyecto simple y compacto. Se aplicó la metodología prevista para PS: las series ya estaban conformadas; se mejoró el entrenamiento de cuadrillas, la velocidad de la obra y la productividad, por las características de los subcontratos de mano de obra. Se aplicó la metodología prevista para CSP; el constructor fue receptivo y se logró identificar los desperdicios, sus causas y controlarlos; se logró implantar la filosofía de "sin pérdidas" y hubo mejora en la productividad.

PROYECTO 1. CASAS USME



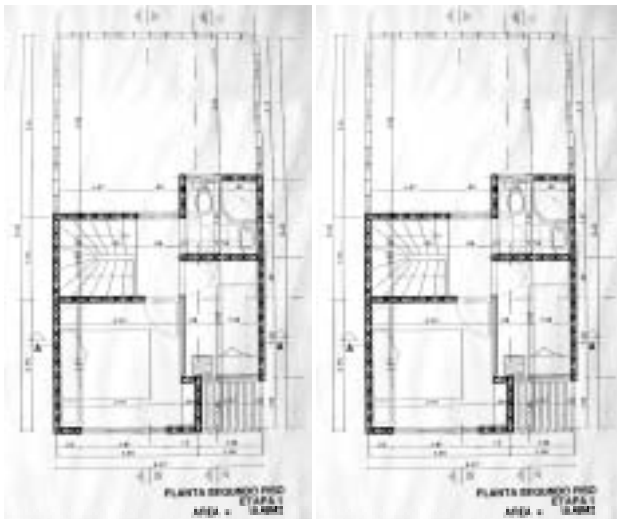
DETALLE ESCALERA



DETALLE LAVAPLATOS



DEFACHADA DE CONJUNTO



PLANTA SEGUNDO PISO  
ETAPA 1  
AREA = 18,00MT

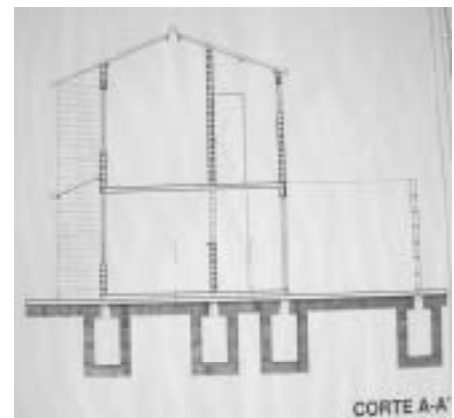
PLANTA SEGUNDO PISO  
ETAPA 1  
AREA = 18,00MT



PLANTA URBANISTICA



FACHADA PRINCIPAL



CORTE A-A

*Proyecto 2.* Propietario y comercializador eran la misma persona con una organización grande, con constructor e interventor particulares. La obra inició en junio/96 y terminó en agosto/97. El proyecto está ubicado en una supermanzana semicircular con 4 series de 6 edificios. Hubo seguimiento al proceso constructivo durante el desarrollo de la obra, antes de este estudio, a través de los interventores, en donde el autor del estudio era socio, gerente y director de la interventoría. En aquella época, aunque ya se conocían estas herramientas, la IV se aplicó sin las formalidades plenas planteadas en este estudio, pero el efecto fue similar al esperado. Eso era parte del compromiso contractual del interventor con el dueño del proyecto.

En el proceso para IV se analizó la información existente, era función contractual del interventor, buscando mejorar la construccionabilidad y reducir costos. Se evaluaron las alternativas de sustitución, manteniendo las que generaban mayor valor. Como resultado, se cambió la cubierta de canaleta por otra de concreto, similar a los entrepisos y se adicionó la impermeabilización de esa nueva cubierta. Se analizó la alternativa elegida y se diseñó la solución, con sus costos y función. Se actualizaron cantidades de obra y precios unitarios. Los diseños iniciales incluían buenos criterios de construccionabilidad.

Se aplicó la metodología prevista para CM: como en el proyecto inicial ya se había incorporado esta técnica, los resultados fueron satisfactorios, por ser un proyecto bien estudiado previamente. Se aplicó la metodología prevista para PS: las series ya estaban conformadas; se mejoró el entrenamiento de cuadrillas y su conformación y la velocidad de la obra, pues las características de construccionabilidad eran buenas.

Se aplicó la metodología prevista para CSP: se logró identificar los desperdicios, sus causas y controlarlos; el constructor fue receptivo para la implantación de la filosofía de "sin pérdidas" y se logró mejorar la productividad.

PROYECTO 2. EDIFICIOS MANZANA 32



FACHADAS PRINCIPALES



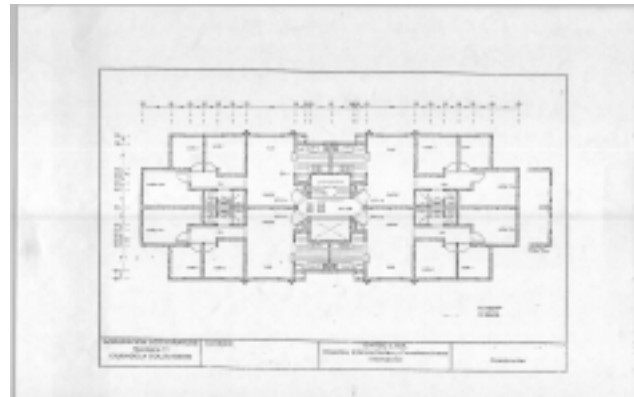
FACHADAS DE CONJUNTO



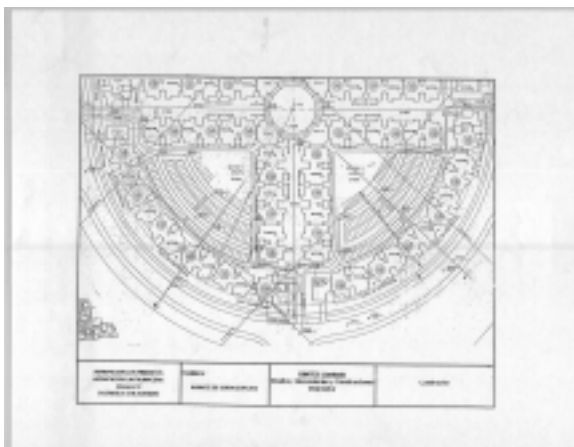
FACHADAS DE CONJUNTO



FACHADAS POSTERIORES



PLANTA PISO TIPO



PLANTA URBANÍSTICA DEL CONJUNTO



FACHADA PRINCIPAL DE CONJUNTO

*Proyecto 3.* Propietario y comercializador eran la misma persona, con una organización grande, con constructor e interventor particulares. La obra inició en febrero/95 y terminó en mayo/96. El proyecto está ubicado en una supermanzana irregular con 2 series de 5 edificios y 1 de 3 edificios. Hubo seguimiento al proceso constructivo durante el desarrollo de la obra, antes de este estudio, a través de los interventores, en donde el autor del estudio era socio, gerente y director de la interventoría.

En aquella época, aunque ya se conocían estas herramientas, la IV se aplicó sin las formalidades plenas planteadas en este estudio, pero el efecto fue similar al esperado. Eso era parte del compromiso contractual del interventor con el dueño del proyecto.

En el proceso para IV se analizó la información existente, era función contractual del interventor, buscando mejorar la construccionabilidad y reducir costos. Se evaluaron las alternativas de sustitución, manteniendo las que generaban mayor valor. Como resultado, se redujo altura de las vigas de cimentación y la pendiente de la cubierta en teja de asbesto cemento; se eliminó una mocheta en la zona de baños y se redujo el bordillo de la ducha. Se analizaron las alternativas elegidas y se diseñaron las soluciones, con sus costos y función. Se actualizaron cantidades de obra y precios unitarios. Los diseños iniciales incluían buenos criterios de construccionabilidad.

Se aplicó la metodología prevista para CM: como en el proyecto inicial ya se había incorporado esta técnica, los resultados fueron satisfactorios, por ser un proyecto bien estudiado previamente. Se aplicó la metodología prevista para PS: las series ya estaban conformadas; se mejoró el entrenamiento, la conformación de cuadrillas, la velocidad de la obra y el plazo de ejecución, pues las características de construccionabilidad eran buenas. Se aplicó la metodología prevista para CSP: se logró identificar los desperdicios, sus causas y controlarlos; el constructor fue receptivo para la implantación de la filosofía de "sin pérdidas" y se logró mejorar la productividad.

PROYECTO 3. EDIFICIOS MANZANA 11



FACHADAS PRINCIPALES



PLANTA URBANÍSTICA



FACHADA INTERIOR

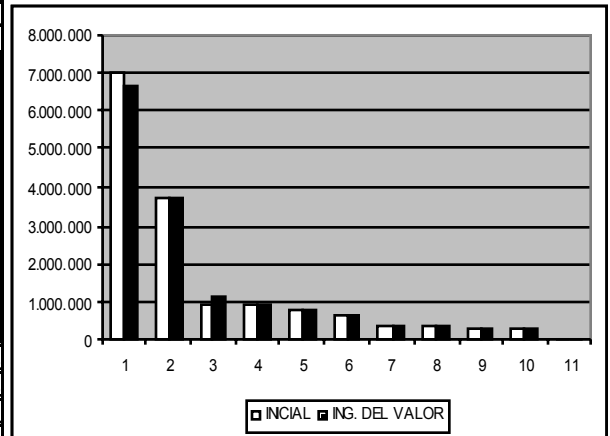


FACHADA EXTERIOR

PRESUPUESTO CASAS USMEPOR CAPÍTULOS

Datos en pesos

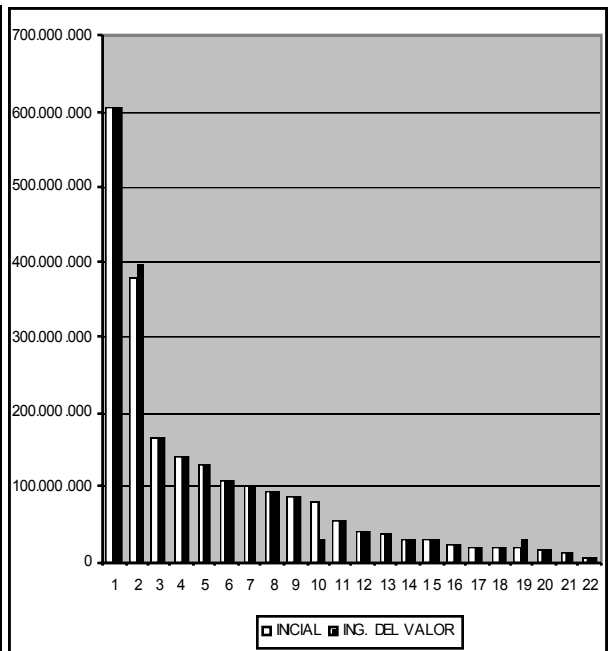
ACTIVIDAD	INICIAL		ING. DEL VALOR	
	Vr Parcial	%	Vr Parcial	%
1 ESTRUCTURA	7.023702	46,0%	6676692	44,14%
2 CIMENTACION	3.706373	24,3%	3706373	24,50%
3 CARPINTERIA METALICA Y MADERA	910156	6,0%	1.132527	7,49%
4 HIDROSANITARIA Y GAS	896901	5,9%	896901	5,93%
5 ELECTRICAS Y TELEFONICA	751095	4,9%	751095	4,97%
6 CUBIERTA	647790	4,2%	647790	4,28%
7 APARATOS SANITARIOS	361717	2,4%	348586	2,30%
8 FACHADA	355945	2,3%	355945	2,35%
9 PISOS ENCHAPES	302011	2,0%	302011	2,00%
10 VIDRIOS	275100	1,8%	275100	1,82%
11 PINTURA	32473	0,2%	32473	0,21%
<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>1526326</b>	<b>100,0%</b>	<b>15.125.492</b>	<b>100,00%</b>
<b>AIU</b>	<b>2.59.475</b>	<b>17,0%</b>	<b>257.133</b>	<b>1,700%</b>
<b>VALOR TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>17858016</b>		<b>17.696.826</b>	
<b>REDUCCIÓN COSTO DIRECTO ING. VALOR/ CASA</b>			<b>137764</b>	



PRESUPUESTO EDIFICIO MZ 32 POR CAPÍTULOS

Datos en pesos

DESCRIPCIÓN	INICIAL		ING. DEL VALOR	
	Vr Parcial	%	Vr Parcial	%
1 MANOSTERÍA ESTRUCTURAL	605.835.401	37,7%	605.835.401	37,7%
2 FUNDACIONES Y ESTRUCTURA	377.364.872	23,5%	395.643.248	24,6%
3 MAMPOSTERÍA, ALFAGIAS, DINTELES	166.754.684	7,5%	166.754.684	7,5%
4 ACEROS DE REPUJESTO	141.282.875	6,4%	141.282.875	6,4%
5 INSTAL. ELECT.- TELEF.- TV.-CITIF	131.225.224	5,9%	131.225.224	5,9%
6 EQUIPOS ESPECIALES	107.770.780	4,9%	107.770.780	4,9%
7 SUBTOTAL REDHIDRÁULICA (COLUM. D	101.282.129	4,6%	101.282.129	4,6%
8 CARPINTERIA ALUMINO	94.409.850	4,3%	94.409.850	4,3%
9 CARPINTERIA METÁLICA	89.771.118	4,1%	89.771.118	4,1%
10 CUBIERTAS	81.320.905	3,7%	30.474.630	1,4%
11 PISOS Y GUARDAESCOBAS	56.198.146	2,5%	56.198.146	2,5%
12 APARATOS SANITARIOS Y GRIFERÍA	41.428.560	1,9%	41.428.560	1,9%
13 CARPINTERIA MADERA	37.330.320	1,7%	37.330.320	1,7%
14 RED INTERNA DE GAS	33.185.315	1,5%	33.185.315	1,5%
15 ENCHAPES, ACCESORIOS, REJILLAS	31.839.568	1,4%	31.839.568	1,4%
16 VARIOS	21.837.684	1,0%	21.837.684	1,0%
17 PINTURA GENERAL	21.011.413	0,9%	21.011.413	0,9%
18 ESPEJOS Y CERRADURAS	19.162.803	0,9%	19.162.803	0,9%
19 IMPERMEABILIZACIONES	19.027.838	0,9%	29.889.143	1,4%
20 ELEMENTOS PREFABRICADOS	14.538.528	0,7%	14.538.528	0,7%
21 DESAGUES	12.085.272	0,5%	12.085.272	0,5%
22 PAÑES SOBRE MUROS	8.393.960	0,4%	8.393.960	0,4%
<b>C O S T O D I R E C T O</b>	<b>2.213.057.245</b>	<b>100,0%</b>	<b>2.191.350.651</b>	<b>99,0%</b>
<b>AIU</b>	<b>34.089.159</b>	<b>16,0%</b>	<b>350.616.104</b>	<b>15,8%</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>	<b>2.567.146.404</b>		<b>2.541.966.755</b>	
<b>REDUCCIÓN COSTO DIRECTO ING. VALOR/ EDIFICIO</b>			<b>21.706.594</b>	



PRESUPUESTO DE OBRA- EDIFICIO MZ11 POR CAPÍTULOS

Datos en pesos

DESCRIPCIÓN	INICIAL		ING. DEL VALOR	
	Vr Parcial	%	Vr Parcial	%
1 ACERO Y MAMPOSTERÍA ESTR.	710.092.892	33,21%	704723542	33,58%
2 FUNDACIONES Y ESTRUCTURAS	368.845.928	17,25%	364653953	17,38%
3 INSTALACIONES	320.184.081	14,98%	314092572	14,97%
4 CARPINTERIA	212.042.304	9,92%	212042304	10,10%
5 MAMPOSTERÍA FUNDIDOS. PREF.	172.274.857	8,06%	152739558	7,28%
6 CUBIERTAS	74.774.330	3,50%	73.263598	3,49%
7 APARATOS SANIT., ACCESORIOS	73.628.032	3,44%	73.628032	3,51%
8 ACABADOS PISOS	53.740.181	2,51%	53.051997	2,53%
9 PINTURA GENERAL	47.430.834	2,22%	47.430834	2,26%
10 PAÑES, ENCHAPES, CIELORASO	40.367.864	1,89%	40.367864	1,92%
11 RED INTERNA DE GAS	39.717.149	1,86%	39.717149	1,89%
12 EQUIPOS Y ACCESORIOS	9.559.733	0,45%	9559733	0,46%
13 IMPERMEABILIZACIONES	7.762.468	0,36%	7762468	0,37%
14 DESAGUES	7.544.143	0,35%	5518789	0,26%
<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>2.137.964.745</b>	<b>100,00%</b>	<b>2.098.552.391</b>	<b>100,00%</b>
<b>AIU</b>	<b>342.074.359</b>	<b>16,00%</b>	<b>335768383</b>	<b>16,00%</b>
<b>TOTAL PPTO MZ 11</b>	<b>2.480.039.104</b>		<b>2.434.320.774</b>	
<b>RED COSTO DIRECTO ING. VALOR/ EDIFICIO</b>			<b>39.412353</b>	

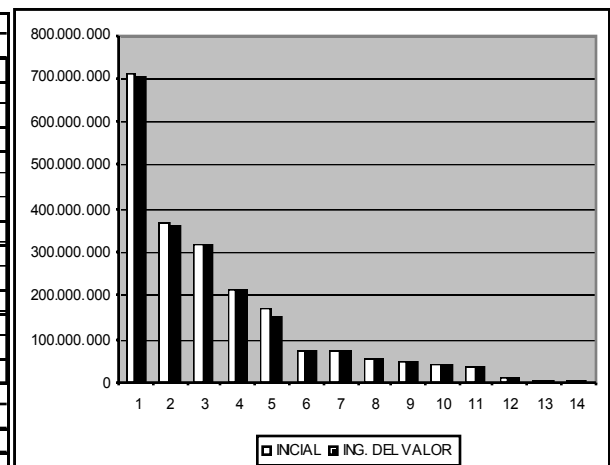


Tabla 2. Análisis de resultados en los proyectos evaluados

HERRAMIENTAS	METODOLOGÍAS APLICADAS	PROY 1 - USME			PROY 2 - MANZANA 32			PROY 3 - MANZANA 11		
	CARACTERÍSTICAS	CON	SIN	CON	SIN	CON	SIN			
INGENIERIA DEL VALOR	Analizar información	A	Seguridad	Alto riesgo	A	Seguridad	Alto riesgo	A	Seguridad	Alto riesgo
	Fase creativa Pareto	A	Creatividad	No aplica	A	Creatividad	No aplica	A	Creatividad	No aplica
	Analizar función	A	Seguridad	Incertidumbre	A	Seguridad	Incertidumbre	A	Seguridad	Incertidumbre
	Tormenta de ideas	A	Creatividad	Incertidumbre	A	Creatividad	Incertidumbre	A	Creatividad	Incertidumbre
	Evaluar alternativas sustitución	M	Seguridad	No aplica	A	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio
	Diseñar solución de impacto	M	Seguridad	Bajo interés	A	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio
	Analizar costos y función	A	Eficiencia	Bajo interés	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio
	Implementar alternativas	A	Seguridad	No aplica	A	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio
	Analizar resultados	A	Eficiencia	No aplica	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio
	Actualizar cantidades precios	A	Seguridad	No aplica	A	Seguridad	Seguridad	A	Seguridad	Seguridad
Analizar construccionabilidad	A	Seguridad	No aplica	A	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio	
COORDINACIÓN MODULAR	Analizar procesos constructivo	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio
	Evaluar desperdicios	A	Reduc costos	Interés medio	A	Reduc costo	Interés medio	A	Reduc costo	Interés medio
	Evaluar calidad proyecto	A	Mejorar	Bajo interés	A	Mejorar	Interés medio	A	Mejorar	Interés medio
	Analizar nuevos diseños	A	Productividad	Bajo interés	A	Productivida	Interés medio	A	Productivida	Interés medio
	Analizar implantación diseño	A	Productividad	Bajo interés	A	Productivida	Interés medio	A	Productivida	Interés medio
PROGRAMACIÓN SERIAL	Determinar magnitud serie	M	Segun localiz	Segun localiza	A	Segun localiz	Segun localiza	A	Segun localiz	Segun localiza
	Evaluar simultaneidad	B	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio
	Analizar entrenamiento cuadril	M	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio
	Analizar rendimiento M. O.	M	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio
	Analizar mejor productividad	M	Eficiencia	Bajo interés	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio
	Analizar actividad ruta crítica	M	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio
	Implementar mecanismo contr	M	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio
CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS	Analizar calidad de M. O.	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio	A	Eficiencia	Interés medio
	Evaluar reducción pérdidas	A	Mejorar	Interés medio	A	Mejorar	Interés medio	A	Mejorar	Interés medio
	Identificar pérdidas	A	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio	A	Seguridad	Interés medio
	Implantar filosofía sin pérdida	M	Inquietud	Interés medio	A	Inquietud	Interés medio	A	Inquietud	Interés medio
	Eliminar no genera valor	M	Productividad	Bajo interés	A	Productivida	Interés medio	A	Productivida	Interés medio
	Optimizar procesos	M	Productividad	Bajo interés	A	Productivida	Interés medio	A	Productivida	Interés medio

CONVENCIONES: CON = Se aplican las herramientas propuestas. SIN = No se aplican las herramientas propuestas

Receptividad del Constructor: A = Alto M = Medio B = Bajo

Variables que influyen en los resultados: Tipo de contrato, Condiciones contractuales, Relación propietario-Interventor, Interventoría externa



## 6. PROPUESTA DE MODELO INTEGRAL

En términos de costos y plazos en construcción de proyectos VIS, las consideraciones y resultados presentados no son ideales, pero si generan impactos positivos para alcanzar los objetivos propuestos. El propósito es que el sector de la construcción, empresarios, proyectistas y constructores asuman el reto de mejorar la productividad a corto plazo, para la construcción de VIS, como un compromiso con el país. Al aplicar esta propuesta, debe considerarse que cada proyecto VIS será un caso único con sus características especiales, aunque pueden haber proyectos similares.

El modelo integral, propuesto a partir de los instrumentos aplicados y de la metodología utilizada en los proyectos elegidos, es un listado de procedimientos aplicables al proyecto que se analice. El grupo de trabajo implementa paralelamente los instrumentos y sus procedimientos, de acuerdo con el programa de tareas que se establezca. Los procedimientos más significativos son:

Para IV: analizar la información existente y desarrollar la fase creativa con el análisis de Pareto y de función y la tormenta de ideas. En la fase analítica, evaluar alternativas de sustitución y mantener las que generen mayor valor. Analizar las alternativas seleccionadas y diseñar las soluciones de mayor impacto, de acuerdo con la construccionabilidad, con análisis de costos y de función. Hacer recomendaciones formales e implementar las escogidas. Actualizar cantidades de obra y precios con diseños, costos y gráficos.

Para CM. Analizar el proyecto, la integración del concepto modular y la intercambiabilidad de insumos. Analizar la racionalización de procesos constructivos. Evaluar desperdicios, productividad y calidad en la construcción por incorporación de componentes industrializados. Analizar los diseños por implantación de componentes modulares en los proyectos.

Para PS. Analizar localización del proyecto y conformación de las series. Evaluar simultaneidad en frentes de trabajo y velocidad de la construcción. Analizar la conformación de cuadrillas, su especialización al ejecutar obras, la reducción de mano de obra, otras variables y el incremento de la productividad. Analizar avance general de obras y de la ruta crítica e implementar mecanismos de control de rendimientos de mano de obra.

Para CSP. Analizar capacitación de personal de producción. Promover cultura de desempeño, identificar pérdidas y evaluar su reducción en procesos productivos y sistemas de planeación y control. Mejorar productividad y competencia sana en la industria. Desarrollar filosofía de "sin pérdidas", el sentido de autocrítica, la innovación permanente y la construccionabilidad. Eliminar actividades que no generen valor, optimizar y reorganizar los procesos. Mejorar rendimientos de mano de obra y de producción. Estimular el crecimiento rápido de la curva de aprendizaje del trabajador. Generar mecanismos de pronósticos y contrastación.

Se propone aplicar al proyecto elegido las siguientes herramientas para reducir costos y plazos en la construcción de VIS: Ingeniería del Valor, Coordinación Modular, Programación Serial y Construcción sin Pérdidas que son técnicas de análisis, manejo y dirección de proyectos, aplicables a VIS. La metodología general y procesos son: Definir objetivos y analizar la información. Evaluar la aplicación de las herramientas e implementarlas. Hacer seguimiento al proceso y analizar los resultados. La propuesta detallada consiste en:

Tabla 3. Propuesta de Modelo Integral

Ingeniería del Valor	<p>Analizar la información existente y las funciones de sus componentes. Desarrollar la fase creativa con el análisis de Pareto y de función y la tormenta de ideas. En la fase analítica, evaluar alternativas de sustitución y mantener las que generen mayor valor. Analizar las alternativas seleccionadas y diseñar las soluciones de mayor impacto, de acuerdo con la construccionabilidad con el análisis de costos y de función. Hacer recomendaciones formales, presentar la propuesta y aprobar. Implementar las alternativas escogidas. Actualizar cantidades de obra y precios con sus diseños, los costos finales y los gráficos.</p>
Coordinación Modular	<p>Analizar el proyecto, la integración del concepto modular y la intercambiabilidad de insumos. Analizar la racionalización de procesos constructivos. Evaluar desperdicios, productividad y calidad en la construcción por incorporación de componentes industrializados. Analizar los diseños por implantación de componentes modulares en los proyectos. Hacer recomendaciones formales, presentar la propuesta y aprobar. Implementar las alternativas escogidas. Actualizar cantidades de obra y precios con sus diseños, los costos finales y los gráficos.</p>
Programación Serial	<p>Analizar localización del proyecto y conformación de series y frentes de trabajo. Evaluar simultaneidad en frentes de trabajo y velocidad de la construcción. Analizar la conformación de cuadrillas, su entrenamiento en las actividades a ejecutar. Evaluar la disponibilidad de insumos y recursos, la reducción de mano de obra y el incremento de la productividad. Analizar avance general de obras y de la ruta crítica e implementar mecanismos de control de rendimientos de mano de obra y del proyecto.</p>
Construcción Sin Pérdidas	<p>Analizar capacitación de personal de producción. Promover la cultura de desempeño, procedimientos para identificar pérdidas y evaluar su reducción en procesos productivos. Renovar los sistemas de planeación, control y retroalimentación. Mejorar la productividad y la competencia sana en la industria. Desarrollar filosofía de "sin pérdidas", el sentido de autocrítica, la innovación permanente y la construccionabilidad. Eliminar actividades que no generen valor, optimizar y reorganizar los procesos. Mejorar rendimientos de mano de obra y de producción. Estimular el crecimiento rápido de la curva de aprendizaje del trabajador. Generar mecanismos de pronósticos y contrastación.</p>

## 7. CONCLUSIONES

Al reducir los costos de la vivienda, los recursos liberados pueden ser utilizados en mejorar la producción y la calidad de las VIS. Igualmente, al reducir los plazos de construcción, los factores tecnológicos, económicos y financieros son más eficientes.

La IV incrementa el valor en las etapas de diseño y construcción de un proyecto y maximiza la cadena de valor de la empresa, generando cada vez mayor competitividad. Cuando se racionalizan los procesos constructivos sin afectar la calidad final del producto terminado, se incrementa la productividad.

La CM simplifica los proyectos y reduce tiempos improductivos. Favorece al fabricante, pues la simplificación estimula la producción industrial, el ritmo de producción aumenta y los costos se reducen. Los elementos normalizados reducen desperdicios y mejoran los rendimientos, mejoran el control de los procesos de producción, ahorran tiempos y esfuerzos y mejoran la eficacia productiva. Aumentan la eficiencia económica del proyecto, facilitan el trabajo del constructor y el cliente se beneficia con una construcción mejor, más barata y con un plazo menor del previsto.

La PS será exitosa si hay buena planeación. La velocidad de construcción debe ser consecuente con la eficiencia y organización. La terminación anticipada de las actividades reduce los costos administrativos y generales de la obra.

Los proyectos están sujetos a incertidumbres por los permanentes cambios tecnológicos, las oportunidades de mercado y las acciones de la competencia, por tanto, los constructores deben identificar los eventos que afecten la productividad y establecer estrategias para controlarlos y evitarlos. Los constructores deben dar apoyo para desarrollar la filosofía de "sin pérdidas", como estrategia empresarial de mejoramiento.

Finalmente, las herramientas analizadas serán exitosas si hay receptividad por parte de los gerentes de proyectos VIS, y esto solo es posible cuando sus organizaciones estén identificadas con el principio de construir más y mejor, optimizando los recursos disponibles.

## 8. RECOMENDACIONES

La IV es más efectiva en la etapa inicial del proyecto, pues hay más oportunidades para mejorar el diseño, reducir costos, mientras se minimizan los riesgos.

Los constructores deben promover la cultura de medición de su desempeño, el compromiso de mejoramiento y superación en los proyectos de construcción, con nuevas mediciones de desempeño. Deben promover el conocimiento y aplicación de estas técnicas y generar entre su personal un gran sentido de responsabilidad, compromiso, pertinencia y eficiencia.

Es ideal que se fomente la filosofía de no desperdicios, no pérdidas, autocontrol y retroalimentación, como estrategias empresariales para mejorar la productividad. Este es un reto superable, que los constructores deben enfrentar promoviendo gestiones gerenciales competitivas, disciplinadas y eficientes.

El éxito del modelo integral propuesto depende del grado de receptividad que tenga el constructor-empresario y su grupo de colaboradores, las empresas constructoras y los gerentes de los proyectos de VIS. Para el efecto, se sugiere al lector complementar la información sobre los temas tratados con la bibliografía presentada en el numeral 10.

La globalización y el mercado variable exigen que la industria de la construcción y sus profesionales se adapten a las nuevas estrategias de gestión en la construcción

## BIBLIOGRAFÍA

AHUJA, Hira N. y WALSH, Michael A. 1999. Ingeniería de Costos y Administración de Proyectos. Editorial Alfaomega.

BARRIE, Donald S., y PAULSON, Jr., Body C. 1984. Professional Construction Management. McGraw-Hill, Inc

BOTERO, Luis Fernando. 2004. Construcción Sin Pérdidas. 1ª. Edición. Legis S.A. Bogotá

CASTRUCCI, Paul. Ene 1995. The Future Changing the Paradigm. Solid State Technology. Academia Search Premier. Sección: The Fab Of The Future

Constructibility Review Guidelines Appendix B y E. 2003

CORREA BARRAZA, Lorena. savage\_lcb@yahoo.com Universidad Autónoma del Noreste. Maestría en Productividad C.D. Acuña, Coah. Última visita febrero de 2006

CRISTANCHO SALAS, Javier Humberto. 2000. Alternativas Económicas y Eficientes en la Urbanización para Vivienda de Interés Social. Tesis, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes

Diario Clarín. Buenos Aires. Sección Arquitectura, Ingeniería, Planeamiento y Diseño. Lunes 22 de enero de 2001.

Don Jackson. Value Engineering Coordinator (HIPA). Federal Highway Administration. 400 Seventh Street, S.W. Washington, DC 20590. Phone: 202-366-4630. FAX: 202-366-3988

ECHEVERRY, Diego. 2004. Notas de clase tomadas en el curso Gerencia de Proyectos. Magister en Ingeniería, Universidad de los Andes. Bogotá.

ELLIS, Rebecca Thatcher. Abril 2000. Reduce Project Cost with Commissioning. Engineered Systems. Academic Search Premier. Commissioning: getting it right(TM)

JAMES F, GROSS y SUAREZ, Manuel J. Abril 2003. How to Reduce Stress. Construction Costs in Designing Correctional and Detention Environments. Corrections Today

KARDOS G. Carleton University, Ottawa Canadá (1993). Fast for Systematic Design. Internet Web Site <http://www.carleton.ca/~gkardos/88403/FAST/FAST5.html> Is there in Value Engineering? Internet . Web Site: <http://www.denvercsi.com/articles/valuengineerart.html> Última visita abril de 2006

KHALED El-Rayes, y OSAMA Moselhi, . Ene 2001. Optimizan Resource Utilization for Repetitive Construction Projects. Journal of Construction Engineering and Management.

MORALES PÉREZ, María de Carmen Guadalupe.2004. ¿Qué es la ingeniería del valor? Internet Web Site: <http://www.imt.mx/cgi-bin/pubs/pubs?nt=1> Última visita abril de 2006

OBNERLENDER, Garold D. 1993. Project Management for Engineering and Construction.. McGraw-Hill, Inc

O'BRIEN, James J. 1994. Construction Estimating,. McGraw-Hill, Inc

PETER E. D. Love Ene 2002. Influence of Project Type and Procurement Method on Rework. Cost in Building Construction Projects. Journal of Construction Engineering and Management

REPORT No. 68 1984. Principios de Coordinación Modular en la Construcción. Instituto de Crédito Territorial. Ministerio de Desarrollo Económico. Bogotá.



SAMUELS Allan F. y BRUDER, Michael J. Sept 1996. Construction Representative: Scheduling and Cost Management. Journal of Construction Engineering and Management.

SERPELL B. Alfredo. 2004. Administración de Operaciones de Construcción. 2ª Edición. Editorial Alfa y Omega

SMITH I., Douglas J. Feb 2003. Planning and Flexibility Key to Reducing Plannin and Construction Costs. Power Engineering.

SPERLING, Roger B. (1993). The PDQs of FAST: Simplifying Funtional Analisis for Construction Value Studies. Internet

Web Site: <http://www.value-eng.or/pdf-docs/confernce-proceedings/1993/9307.pdf> Última visita marzo de 2006

TAYLOR, Keith. ALE. How to improve performance and reduce costs through value engineering. Internet Web Site: <http://www.ale.com/Pages/v alpap1.htm>

Value Engineering for FHWA. Federal-Aid Highway Program. 2005.

VALUE STUDIES. Internet Web Site: <http://www.value-eng.or/pdf-docs/confernce-proceedings/1993/9307.pdf> Última visita enero de 2006

VESTALI, Kathy, Corrections Today, Abr 1994, Inmate Labor program Cuts Costs While Teaching Useful Jobs Skills. Academic Search Premier. Sección: Architecture. Construction & Desing

WEAVER, Peter. Ago 1992. "Construcction Managers" Can Trim Your Costs and Headaches. Nation's Business, Academia Search Premier. Sección: It's Your Money, Home Remodeling.