

## MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE DISEÑO EN PROYECTOS ACHIEVING A LEAN DESIGN PROCESS

Por / By Javier Freire, Luis F. Alarcón

### *Resumen*

Se propone una metodología para el proceso de diseño en proyectos de construcción. Basándose en los principios y conceptos de “Lean Production” esta metodología considera al proceso de diseño como un conjunto de tres diferentes modelos: conversión, flujo y valor. Cuatro etapas son necesarias para producir mejoramientos y cambios: (1) diagnóstico/evaluación, (2) implementación de cambios, (3) control, y (4) estandarización. Esta metodología propone la aplicación de siete herramientas de acuerdo a las necesidades específicas (detectadas y deseadas) en cinco áreas potenciales de mejoramiento (CAPRI): Cliente, Administración, Proyecto, Recursos e Información. Resultados de una aplicación incluyen: aumento de 31% de la proporción de actividades que agregan valor, 44% reducción de los errores unitarios en los productos, hasta 58% de reducción de los tiempos de espera en el proceso, y un incremento de la utilización en los tiempos de ciclo. De esta forma, no solo se mejoraron la eficiencia y efectividad de los productos internos de la ingeniería, pero el proyecto global, al mejorar uno de los principales proveedores de la construcción.

**Palabras Claves:** lean design, proceso de diseño, flujo, valor, mapeo del flujo de valor, capri, metodología de mejoramiento, gestión del diseño.

### *Abstract*

An improvement methodology is proposed for the design process in construction projects. Based on the concepts and principles of Lean Production the methodology considers the design process as a set of three different models: conversion, flow and value. Four stages are necessary to produce improvements and changes: (1) diagnosis/evaluation, (2) change implementation, (3) control, and (4) standardization. The methodology proposes the application of seven tools in accordance to specific needs (detected and desired) in five potential areas of improvement (CAPRI): Client, Administration, Project, Resources, and Information. The Results of one application included: an increase of 31% in the proportion of value adding activities, a 44% reduction in product errors per unit, an up to 58% decrease of waiting times in the process, and an increase in utilization in the cycle times. In this manner, not only did the efficiency and effectiveness of internal engineering products improve, but also the whole project, by improving one of the main suppliers of construction.

**Keywords:** Lean design, design process, flow, value, value stream mapping, CAPRI, improvement methodology, design management.

## 1. INTRODUCCION

La influencia de la etapa de diseño en los resultados de los proyectos, tanto económica como técnicamente es extremadamente importante. Es precisamente en esta etapa donde se conceptualizan las ideas y especulaciones del cliente en un modelo físico materializable; definiendo sus necesidades y requerimientos a través de procedimientos, planos, y especificaciones técnicas. Sin embargo, la administración y la ingeniería del diseño han sido escasamente examinadas y ejemplificada. De hecho, numerosos autores (Cornick 1991; Austin et al. 1994; Koskela et al. 1997; Ballard y Koskela 1998; Formoso et al. 1998) indican que en el diseño, la planificación y el control son substituidos por caos e improvisación, causando: mala comunicación, falta de documentación adecuada, ausente o deficiente información de entrada, desequilibrada asignación de recursos, falta de coordinación entre disciplinas y errática toma de decisiones. El proceso de diseño es carente en minimizar los efectos de complejidad e incertidumbre, asegurar suficiente información disponible para completar las actividades de diseño y reducir inconsistencias dentro de los documentos de la construcción (Tzortzopoulos y Formoso 1999). Aun si la naturaleza del proceso de diseño justifica algunos de estos problemas, esta realidad no puede ser considerada satisfactoria.

La gestión del diseño ha intentado varias estrategias para resolver los problemas anteriormente mencionados como: administración de proyectos, ingeniería concurrente, modelos de procesos, ingeniería del valor, nuevas formas organizacionales y apoyo de información tecnológica (Ballard y Koskela 1998). Aun cuando estos nuevos y modernos enfoques para la gestión del diseño contienen interesantes y aparentemente efectivas técnicas, son fragmentados y carentes de una sólida base conceptual; así convirtiéndose en una barrera para el avance. Huovila et al. (1997) propusieron una estructura conceptual para la gestión del diseño en que tres diferentes perspectivas de este proceso son consideradas: (1) diseño como conversión de entradas a salidas; (2) diseño como un flujo de información; (3) diseño como un proceso de generación de valor para los clientes. Este conjunto de perspectivas permite una base conceptual más sólida de la ingeniería y el diseño, que puede ser comprendida como la unión simultánea de las tres.

Este paper propone una metodología para el mejoramiento del proceso de diseño, basándose en los conceptos y principios de gestión de producción “lean” aplicados al área de diseño (Lean Design). Tras una breve descripción de la base teórica de la metodología, se describe en detalle cada una de sus etapas, resaltando los aspectos más importantes. Posteriormente, se muestran los resultados de una aplicación de la metodología en una empresa de diseño, enfatizando los potenciales mejoramientos que son posibles con este nuevo enfoque de gestión del proceso de diseño.

## 2. GESTION DEL PROCESO DE DISEÑO

Los conceptos y principios de la gestión de producción “lean”, que promueven la eliminación de las actividades que no agregan valor en los procesos, son aplicados a la ingeniería y diseño para formar una nueva forma de gestión del proceso de diseño (lean design). Esta forma de gestión considera tres perspectivas para describir el proceso de diseño como se muestra en la Tabla 1: conversión, flujo y generación de valor. La diferencia entre estas visiones es la forma en que ellas conceptualizan al proceso, es decir, la forma en que describen sus aspectos y propiedades. Estas representaciones simbólicas hacen que varíen desde sus principios esenciales hasta los métodos y prácticas para llevar a cabo su contribución práctica.

Tabla 1. Comparación entre las Perspectivas de Conversión, Flujo y Generación de Valor (Koskela y Huovila 1997)

	<b>Conversión</b>	<b>Flujo</b>	<b>Valor</b>
<i>Conceptualización de la ingeniería</i>	Como una conversión de requerimientos en un producto de diseño.	Como un flujo de información, compuesto de conversión, inspección, movimiento y esperas.	Como un proceso donde el valor para el cliente es creado a través del cumplimiento de sus requerimientos.
<i>Principios principales</i>	Descomposición jerárquica; control y optimización de actividades individuales.	Eliminación de pérdidas (actividades innecesarias); reducción de tiempo.	Eliminación de "pérdida de valor" (tramo entre el valor conseguido y el mejor valor posible)
<i>Métodos y prácticas</i>	Estructura de quiebre de proyecto, método del camino crítico, matriz de organización y responsabilidades	Rápida reducción de incertidumbre, trabajo en equipo, integración de herramientas, partnering.	Análisis riguroso de requerimientos, manejo sistematizada de traspaso de los requerimientos, optimización.
<i>Contribución práctica</i>	Preocupándose de lo que tiene que hacerse.	Preocupándose de que lo innecesario se haga lo menos posible.	Preocupándose que los requerimientos del cliente son alcanzados en la mejor forma posible.
<i>Nombre sugerido para la aplicación práctica de esta perspectiva</i>	Administración de tareas (task management)	Administración de flujos (flow management)	Administración del valor (value management)

La perspectiva de conversión es instrumental en descubrir cuáles son las tareas necesarias para llevar a cabo un diseño; por ende es perfectamente factible realizar proyectos de diseño basándose en este modelo. Sin embargo, no ayuda a determinar cómo no utilizar los recursos innecesariamente o cómo asegurar que los requerimientos del cliente sean logrados de la mejor manera posible (Koskela y Huovila 1997). En resumen, la perspectiva de conversión es efectiva para la administración, pero no para el mejoramiento. De hecho, este modelo sólo considera la primera de tres interrogantes que de acuerdo a Turner (1993) constituyen el núcleo de la administración de proyectos: (1) que una adecuada y suficiente cantidad de trabajo sea hecha; (2) que trabajo innecesario no sea hecho; (3) que el trabajo hecho cumpla el propósito de negocios propuesto. En consecuencia, el uso de esta única perspectiva ha contribuido directa e indirectamente a muchos problemas persistentes en los proyectos de ingeniería: fragmentación, es más importante llevar a cabo las tareas que preocuparse por su relación con otras actividades; las iteraciones necesarias y la inevitable variabilidad en las tareas llevan a rehacer trabajos que no son visibles en su consideración funcional; los requerimientos del cliente final tienden a ser atenuados en la frecuentemente larga cadena de actividades.

El conceptualizar el proceso de diseño como un flujo de información tiende a reducir pérdidas al minimizar: el tiempo que la información espera para ser usada, tiempo gastado en la inspección de la información de acuerdo a lo requerido, tiempo gastado en que la información se mueve de un diseñador contribuyente al próximo. Más aún, y tal vez más importante que reducir el costo y tiempo del diseño, al conceptualizar el proceso de diseño como un flujo de información permite la coordinación de flujos interdependientes y la integración del diseño con los proveedores y la construcción (Ballard y Koskela 1998).

En el modelo de generación de valor el énfasis está en la obtención de los requerimientos del cliente. El mejoramiento en el diseño recae en reducir la pérdida de valor que ocurre cuando no todos los requisitos son transmitidos en el proceso. Por otro lado, el valor consiste en el desempeño del producto y en la falta de defectos. Este valor tiene que ser evaluado desde la perspectiva del próximo cliente(s) y el cliente final. Para prevenir la pérdida de valor es necesario: analizar los requerimientos y necesidades en los comienzos y en estrecha cooperación con el cliente, utilizar una administración sistematizada de requerimientos (como la aplicación de la metodología QFD, Akao 1990) y organizar rápidas iteraciones entre todos los participantes que entregan información de diseño y construcción (Huovila et al. 1997).

La gestión del proceso de diseño “lean” incorpora las perspectivas de flujo y de generación de valor, en contraste con la visión tradicional del modelo de conversión. Aun cuando cada percepción fue analizada separadamente, el proceso de diseño incorpora las tres. En otras palabras, en realidad las tres existen como diferentes aspectos en las tareas de diseño. Cada tarea es en sí una conversión. Además, es una etapa dentro del flujo total del diseño, donde las tareas precedentes impactan a través de tiempo, calidad de entrega, etc. e impactan las tareas subsecuentes. También, convencionalmente sólo el aspecto de conversión ha sido explícitamente modelado, administrado y controlado. Los otros dos aspectos han sido dejados para consideraciones informales de los diseñadores. La mayor contribución de la ingeniería concurrente es la extensión de la modelación hacia los aspectos de flujo y valor, así sometiénolos a una administración sistemática.

De esta forma, se “abren las puertas” para modelar la aplicación práctica de las tres perspectivas en el proceso de diseño. Esta incorporación permite nuevas formas de “visualizar” el proceso, incrementando el entendimiento y la comprensión de cómo funciona. De esta forma, motiva a la implementación de herramientas que integren estos aspectos típicamente desatendidos; por ende mejorándolo.

### **3. METODOLOGIA PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE DISEÑO EN PROYECTOS**

#### **3.1 Introducción**

El objetivo primordial detrás de la metodología es considerar al proceso de diseño no sólo como un modelo de conversión, sino que con las características de los modelos de flujo y valor. Esta primera gran diferencia hará que el proceso sea visto desde otra perspectiva, distinta a la tradicional, permitiendo descubrir y analizar aspectos comúnmente velados. La metodología está esquemáticamente resumida en la Figura 1.

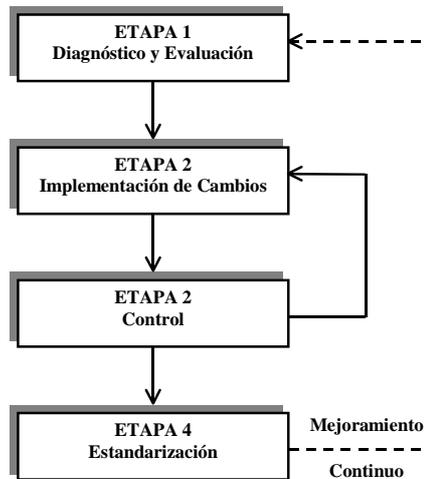


Figura 1. Metodología de Mejoramiento

En términos generales, la metodología plantea cuatro fases para el mejoramiento del proceso de diseño en proyectos:

- 1) Diagnóstico y evaluación  
Su objetivo principal es determinar cómo se encuentra el proceso de acuerdo a los conceptos de flujo y valor. Básicamente, en esta etapa se utilizan diversas herramientas para obtener las categorías de pérdidas existentes en el proceso y sus respectivas causas, la distribución del tiempo y los tiempos de ciclo en el proceso, y diferentes indicadores de desempeño.
- 2) Implementación de cambios  
Esta etapa considera los resultados de la fase anterior para implementar diversos cambios, con las herramientas de mejoramiento propuestas, de acuerdo a las pérdidas y problemas identificados. La metodología permite que los mejoramientos sean los apropiados de acuerdo a las necesidades específicas de cada caso, otorgando flexibilidad en su aplicación. Más aún, discrimina entre diferentes áreas de mejoramiento, para facilitar la implementación no sólo de acuerdo a los requerimientos técnicos, sino también de acuerdo a la disponibilidad de recursos y estrategias específicas de cada empresa. Las áreas de mejoramientos son las siguientes (CAPRI): C=Cliente; A=Administración; P=Proyecto; R=Recursos; I=Información.
- 3) Control  
Esta fase consiste en la medición y control de algunos parámetros para determinar cambios en desempeño; esencialmente se controlan las medidas obtenidas en la etapa de diagnóstico y evaluación, como la distribución del tiempo del proceso y los indicadores de desempeño.
- 4) Estandarización  
El objetivo es introducir mejoramientos permanentes en los métodos de trabajo que apoyan al proceso de diseño. Además, la metodología aspira a implementar mejoramiento continuo en el proceso sobre la reiteración de ella.

### ETAPA 1: DIAGNÓSTICO Y EVALUACIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO

Un modelo de diagnóstico y evaluación del proceso de diseño fue creado para cumplir con los objetivos anteriormente señalados y facilitar el uso de la metodología de mejoramiento. La Figura 2 muestra gráficamente los cinco elementos que intervienen en el diagnóstico y evaluación del proceso de diseño en proyectos. Los elementos del modelo se enfocan en los aspectos de flujo y valor del

proceso de diseño. No existe un orden específico para llevar a cabo la evaluación del proceso, pero las cinco acciones son necesarias y complementarias para el entendimiento acabado del proceso.

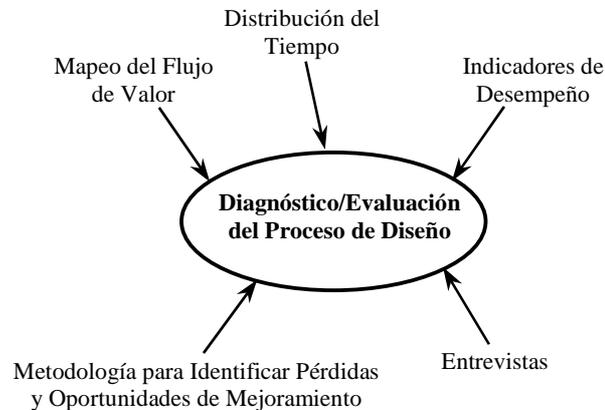


Figura 2. Modelo de Diagnóstico del Proceso de Diseño

(a) Indicadores de desempeño

Para obtener una medida objetiva de la calidad del proceso de diseño, se definieron dos indicadores:

- 1) Cambios en el diseño = número de cambios/ número total de planos (o documentos);
- 2) Errores/ Omisiones = número de errores/ número total de planos (o documentos).

El primer indicador entrega una orden de magnitud de los cambios en los proyectos. Se consideró un cambio como “cualquier desviación de las especificaciones originales y bases de diseño que perjudique y/o modifique los planos o documentos en ejecución”. El segundo indicador mide la calidad de los planos y documentos en el proceso de diseño. Los errores y omisiones fueron considerados con igualdad por tratarse de “cualquier requerimiento no conforme a las especificaciones y criterios de diseño de los planos o documentos”. Es necesario recalcar la importancia en el control de la información para poder recopilar los datos requeridos. Sin embargo, como el objetivo de esta metodología no es sólo mejorar el proceso interno de diseño sino también facilitar la posterior construcción y puesta en marcha del proyecto, hay que ser un buen “proveedor” para la construcción. Esto significa que es conveniente agrupar estos indicadores en planos y documentos de diferentes áreas o zonas para la construcción. En general, los diseños tienen números correlativos para áreas específicas del proyecto, por lo que se pueden usar para medir el desempeño. De esta manera se sabrá la variación de la calidad de los planos o documentos necesarios para avanzar físicamente en el proyecto.

Especial precaución debiera ser tomada cuando se comparan y miden estos indicadores en diferentes ambientes. A pesar de que la mayoría de los planos son producidos en computadoras, el número total de ellos varía enormemente con aquellos que son hechos a mano (generalmente menores), así cambiando los valores del indicador. Como regla general, uno debe usar los indicadores de desempeño para productos creados en condiciones similares.

(b) Distribución del tiempo en el proceso

Es esencial obtener el tiempo que se utiliza en el proceso de diseño, pero aún más fundamental es poder conocer la distribución de éste. El concepto de caracterizar la distribución permite conocer íntegramente al proceso de acuerdo a los conceptos de flujo, con sus respectivas actividades que agregan y no agregan valor al producto.

La mayoría de las empresas de diseño llevan un estricto control de las fechas de las diferentes emisiones de los planos o documentos. Sin embargo, el proceso interno de diseño que es genéricamente compuesto por: recolección de información, diseño, chequeo, corrección y emisión no es conocido. Uno puede observar que la única actividad que agrega valor es el diseño, todas las demás son pérdidas y deben ser reducidas o eliminadas. En orden para calcular la duración del proceso de diseño, es necesario determinar el tiempo de ciclo, definido como el “número de días de trabajo transcurridos entre inicio y término del plano (o documento)”.

- (c) Metodología para identificar pérdidas y oportunidades de mejoramiento  
Para obtener una adecuada noción de las pérdidas y sus respectivas causas en el proceso de diseño, se adaptó la metodología desarrollada por Alarcón (1997) para el área de ingeniería de diseño.
- (d) Mapeo del flujo de valor (value stream mapping)  
Utilizando el mapeo del flujo de valor (Rother y Shook 1998) para el proceso de diseño es vital para “visualizar” el proceso en términos “lean”.
- (e) Entrevistas  
Entrevistas son usadas para detallar y clarificar resultados. Entrevistas también sirven como una herramienta de “tormenta de ideas” para definir problemas y crear diagramas de causa-efecto para analizar procesos. Además, ellas incorporan el aspecto humano en la metodología al permitir el conocimiento de la realidad de los procesos.

## ETAPA 2: IMPLEMENTACIÓN DE CAMBIOS – HERRAMIENTAS DE MEJORAMIENTO

Las herramientas de mejoramiento están clasificadas sobre la base de cinco áreas potenciales (CAPRI): cliente, administración, proyecto, recursos e información que interactúan como se muestra en la Figura 3. Específicamente, el proceso de diseño es una parte del proyecto, que a la vez está vinculado con el cliente dentro de la administración. Las categorías de recursos e información están presentes en todas las áreas, por lo que es indispensable el apropiado manejo de estos sistemas. Esto significa que existe flujos de recursos e información entre el cliente, la administración, proyecto y el proceso de diseño.

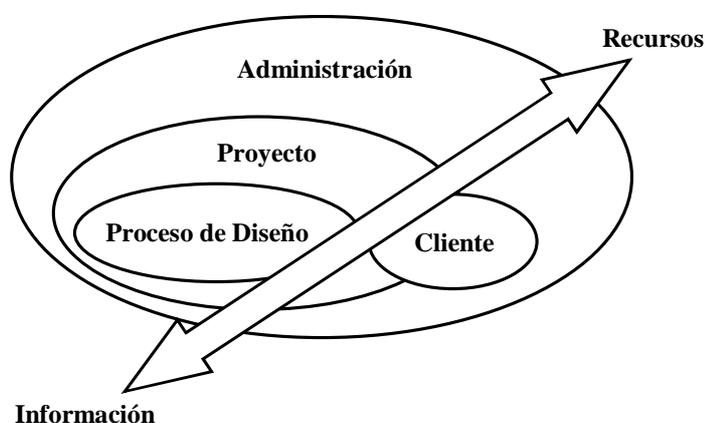


Figura 3. CAPRI (Cliente-Administración-Proyecto-Recursos-Información)

Se propusieron las siguientes siete herramientas: (1) Coordinación interactiva; (2) Intranet; (3) Listas de chequeo antes del diseño; (4) Listas de chequeo después del diseño; (5) QFD – Quality function deployment; (6) Mapa del flujo de valor; (7) Capacitación. Las herramientas son seleccionadas para trabajar en áreas específicas de mejoramiento que sean apropiadas para las necesidades específicas de cada caso, pero también de acuerdo a la disponibilidad de recursos y estrategias específicas de cada empresa (Tabla 2).

Tabla 2. Enfoques de las Herramientas de Mejoramiento

Herramientas de Mejoramiento	Area de Mejoramiento				
	C	A	P	R	I
(1) Coordinación interactiva			X	X	X
(2) Intranet					X
(3) Listas de chequeo antes del diseño		X	X		
(4) Listas de chequeo después del diseño		X	X		
(5) QFD	X				
(6) Mapa del flujo de valor				X	X
(7) Capacitación				X	

- (1) Coordinación interactiva se refiere a la posibilidad de simultáneamente diseñar un producto mientras se coordina con otras disciplinas en el proyecto (en tiempo real). La idea detrás de la coordinación y corrección paralela es evitar interferencias y reducir el tiempo de ciclo de cada plano. Existen muchos programas computacionales disponibles para este propósito.
- (2) Intranets son ideales para expandir los usos y beneficios de la distribución de información al interior de las organizaciones. Además, siendo el principal flujo de las empresas de diseño la información, esta herramienta se convierte en algo vital. Su uso disminuirá en gran medida el tiempo requerido para la búsqueda y obtención de información de diferentes fuentes.
- (3) Listas de chequeo son una de las herramientas más fundamentales de la gestión de calidad, principalmente diseñadas como recordatorios (avisos) y guías para los trabajadores. No obstante, en el mejor de los casos, ellas indican algunos de los aspectos importantes a considerar durante el proceso (casi siempre indican las características del producto final). De esta forma, usando listas previas al ejecutar el trabajo “protege” el diseño antes de comenzar (estrategia de la nueva filosofía de producción de “shielding production” o protegiendo la producción, desarrollada por Ballard y Howell 1998), obligando a los diseñadores a obtener un mínimo de requerimientos e información para iniciar su labor y evitando costosos trabajos rehechos.
- (4) Listas de chequeo para revisar los documentos y planos durante su desarrollo (y al final de su ejecución para verificar sus características principales) ayudan a controlar las características y variaciones de los productos. A pesar de que las listas de chequeo de revisión colaboran a la estandarización de los productos y disminuir los errores, son herramientas reactivas que

corrigen los errores después de ejecutadas la actividad. Por esta razón, se hace hincapié en la importancia de las listas de chequeo previas al trabajo que es una medida proactiva.

- (5) QFD es una metodología muy útil para determinar los requerimientos y necesidades del cliente. Se basa en la construcción de matrices para relacionar la información necesaria, siendo ideal para las etapas de diseño conceptual y diseño básico (Aka0 1990).
- (6) Mapa del flujo de valor es un apoyo en mejorar el flujo de información en el proceso de diseño, al sugerir métodos alternativos para administrar el flujo. Esta herramienta crea una base para futuras acciones e incentivos de generación de valor.
- (7) Capacitación es indispensable en todo proceso productivo. El recurso humano es el recurso más valioso de las empresas, y se debe adiestrar. En el proceso de diseño, la ingeniería es muy dependiente de la experiencia de las personas, incluso es usado como parámetro para determinar la calidad o requisitos mínimos para presentarse a propuestas. Varios tipos y grados de capacitación que dependerán del tipo de empresa, proyectos, metas, estrategias, etc. se deben enfocar a conocimientos de la nueva filosofía de diseño (lean design), uso de programas de diseño, manejo general de computación, conceptos de calidad, conceptos de seguridad.

Para implementar los cambios exitosamente, es aconsejable considerar las siguientes sugerencias.

- a) Trabajo en equipo: uno de los rasgos más importantes en el éxito de un buen diseño (y de los proyectos) es el trabajo en equipo. Es indispensable apoyar el trabajo de equipos multidisciplinarios, donde se pueden incorporar representantes del diseño, de la construcción, del cliente (construcción y operación) y a veces los proveedores de equipos para facilitar la toma de decisiones y la realización de actividades, considerar la constructibilidad, temas de calidad, etc.
- b) Mejoramiento continuo y aprendizaje organizacional: el mejoramiento continuo es necesario para mantener una competitividad. En general, durante el proceso de diseño, los proyectos son administrados basándose en experiencia informal, de este modo errores típicos son repetidos por diferentes personas. El conocimiento obtenido (know how) no es sistemáticamente compartido dentro de las organizaciones. Las empresas necesitan mejorar la medición de los indicadores de la ingeniería y también el intercambio de información (con una rápida retroalimentación).
- c) Flexibilidad: los ambientes y entornos varían de proyecto a proyecto. Por ende, una decisión de un proyecto puede ser inapropiada en otro. Esto significa que el sistema (de trabajo) necesita ser capaz de adaptarse a estos cambios, tener flexibilidad en los sistemas para adaptarse a las nuevas condiciones.
- d) Importancia de fases preliminares de diseño: es necesario enfatizar las fases tempranas del diseño. Una temprana participación de personal de la construcción en la ingeniería puede influir para un mejor resultado. Además, posibles cambios en el diseño son más baratos en las etapas preliminares del diseño. Cambios en fases posteriores frecuentemente llevan a extensivos re-trabajos en la ingeniería.
- e) Introducir el control en el flujo de actividades: las actividades de planificación y control deben estar enfocadas al flujo de las actividades. Esta es la forma más fácil de introducir cambios y mejoramientos (el Último Planificador es ideal para este propósito, Ballard 1994).

### **ETAPA 3: CONTROL**

El propósito de esta fase es determinar los efectos de los cambios realizados en la etapa anterior, ya sea por el uso de las herramientas de mejoramiento como de las recomendaciones para implementarlas.

El control consiste en la medición de los indicadores de desempeño y la distribución de tiempo del proceso, observando la variación de estos valores y reconociendo la efectividad de los cambios. Para llevar a cabo el control es necesario documentar los datos correspondientes a los errores y cambios de los productos (planos y documentos).

### **ETAPA 4: ESTANDARIZACIÓN**

Esta última etapa representa una formalización de los cambios e integración total a la forma de trabajo de las empresas. El objetivo es que se utilicen las herramientas de mejoramiento para introducir nuevos métodos de trabajo que apoyen al proceso de diseño y mejoramiento continuo. En otras palabras, crear prácticas que promueven los modelos de flujo y valor. Además, cada empresa es capaz de implementar un mejoramiento continuo al reiterar la metodología, de acuerdo a sus necesidades específicas del momento.

## **3.2 Consideraciones Sobre la Naturelaza del Proceso de Diseño**

Ninguna empresa de ingeniería es igual a otra. Ellas tienen diferentes estrategias, metas, organizaciones, procedimientos y métodos de trabajo, recursos, experiencia, tamaño, etc; incluso diferentes segmentos de mercado como diseño de edificios, obras civiles o industriales, minería y metalúrgica, etc. Por estas razones, la metodología debe proveer un apoyo flexible a las empresas de diseño. Su aplicación otorga la libertad para que cada una decida lo apropiada para ella de acuerdo a los conceptos básicos detrás de la metodología: gestión de diseño “lean”. Por ejemplo, una empresa que tiene como objetivo la certificación de la ISO 9001, puede adaptar fácilmente las listas de chequeo como herramientas de apoyo. También, el control de los indicadores de desempeño y el tiempo de ciclo sirven para el control estadísticos de los procesos y productos de acuerdo la normativa ISO. Del mismo modo, si una empresa desea cumplir cabalmente todos los requisitos y necesidades de su cliente, puede optar por la herramienta y metodología QFD.

Aun cuando se recomienda cumplir rigurosamente cada uno de los aspectos de la metodología para mejorar íntegramente el proceso y no algo parcial, no es algo indispensable. Por ejemplo, en la etapa 1 (diagnóstico y evaluación) solamente la metodología para identificar pérdidas y oportunidades de mejoramiento es suficiente para comenzar a eliminar actividades que no agregan valor e implementar acciones de mejoramiento sobre las causas de las pérdidas. Sin embargo, este es un primer paso dentro de un análisis más detallado del proceso (distribución del tiempo, mapeo del flujo de valor, etc.). También, en la etapa 2 (implementación de cambios) no es insustituible aplicar todas las herramientas de mejoramiento; de hecho por esta razón se dividieron de acuerdo a las áreas de mejoramiento (CAPRI) para tener la autonomía de elegir basándose en las obligaciones específicas de cada empresa.

Finalmente, cabe añadir que no es fácil una implementación inmediata de los conceptos de “lean design”. En general, como todos los cambios en sistemas y métodos operacionales, es un proceso paulatino donde hay muchas posibilidades de fracasar con comienzos falsos. Con este motivo, los autores recomiendan iniciar la implementación con todo lo relacionado con la eliminación de pérdidas (conceptos de kaizen o mejoramientos de proceso). Esta área muestra resultados inmediatos debido a la gran cantidad de actividades que no agregan valor en los procesos y posteriormente comenzar a generar valor en los procesos, sobre todo con relación al cliente.

## 4. APLICACION DE LA METODOLOGIA EN UNA EMPRESA DE DISEÑO

### 4.1 Descripción General

La metodología fue aplicada en cuatro proyectos de una empresa de diseño principalmente dedicada a la ingeniería de proyectos civil, mineros e industriales, por un período aproximado de un año. Todos los proyectos estaban en la etapa de ingeniería de detalle y usaban el esquema diseño-propuesta-construcción. Los productos de la empresa fueron clasificados en dos grupos: planos y documentos.

La etapa de diagnóstico y evaluación, que tuvo una duración de tres meses, permitió conocer el proceso entero. Mapeo del flujo de valor fue extremadamente útil para visualizar cómo el proceso trabaja, y para reconocer las diferentes actividades involucradas. Fue posible dibujar un mapa de la situación inicial y categorizar el tiempo en cada etapa del proceso de producción: recolección de información, diseño, chequeo, corrección, emisión y distribución.

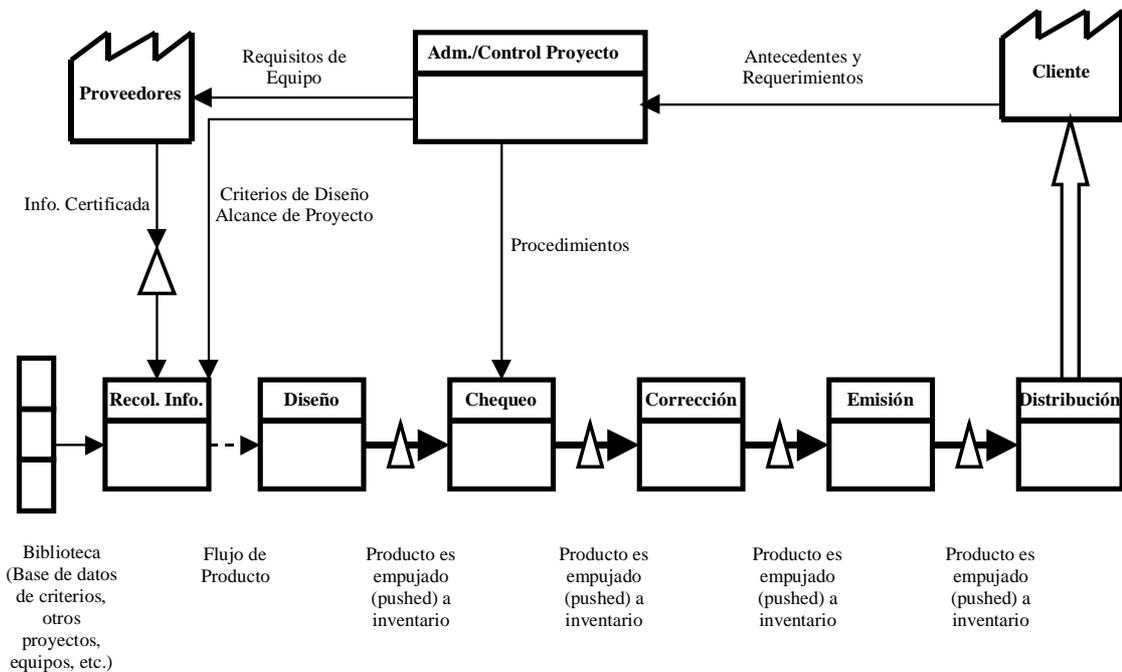


Figura 4. Mapa del Flujo de Valor del Proceso de Diseño Inicial

El principal descubrimiento fue que existe una gran cantidad de trabajo en inventarios entre las diferentes etapas de producción de los planos y documentos. Esto significa que el tiempo efectivo usado para el diseño es una pequeña fracción del total del tiempo de ciclo para producir los productos. Los planos y documentos estaban pasando la mayoría del tiempo en inventarios esperando para ser trabajados. Como se aprecia en la Figura 5, la utilización (simplemente definida como el porcentaje de horas efectivamente trabajadas en el tiempo de ciclo) en el caso de los planos fue de 31.7%. Aquí, es importante enfatizar los bajos valores en la utilización y en la propia etapa de diseño. De acuerdo a los principios de la gestión de producción

“lean”, la única actividad que agrega valor en el proceso es el diseño, pero sólo 16.2% del tiempo de ciclo es usado para ella.

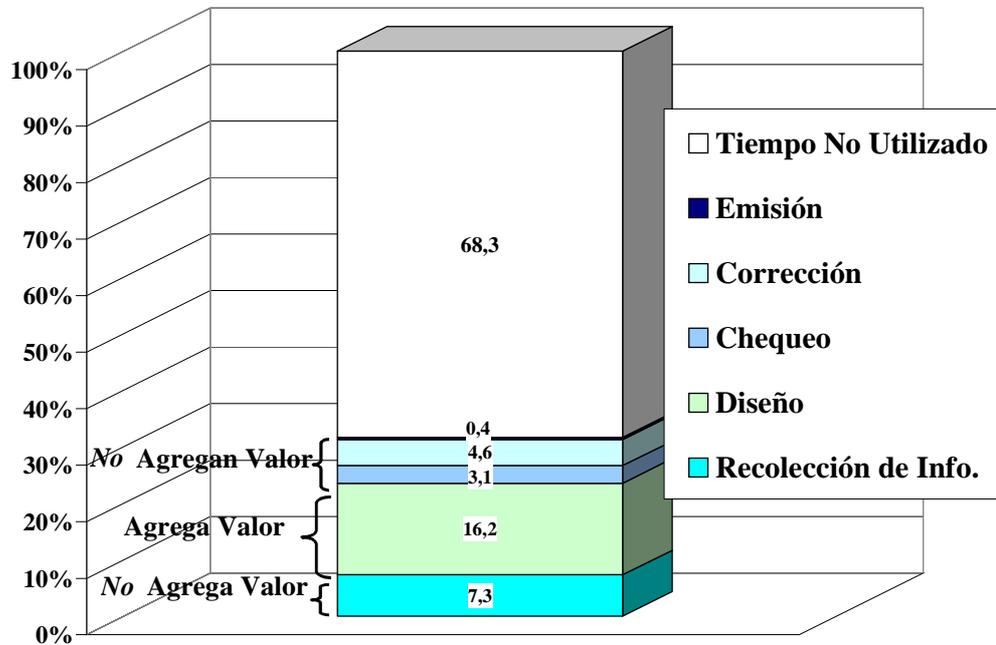


Figura 5. Distribución del Tiempo de Ciclo en Planos

Los resultados provenientes de la metodología para identificar pérdidas y oportunidades de mejoramiento (Alarcón, 1997) permitieron desarrollar una comprensión de los principales problemas en el proceso con causas y categorías de pérdidas. Un ejemplo de nuestro análisis está representado en la Figura 6, que muestra la frecuencia de las pérdidas en el proceso de ingeniería y la importancia relativa de cada tipo de pérdida. Con este mismo tipo de análisis, las siguientes causas de pérdidas fueron determinadas como las más importantes para reducir: falta de conocimiento de los requerimientos del cliente, coordinación interdisciplina, burocracia y información (no disponible).

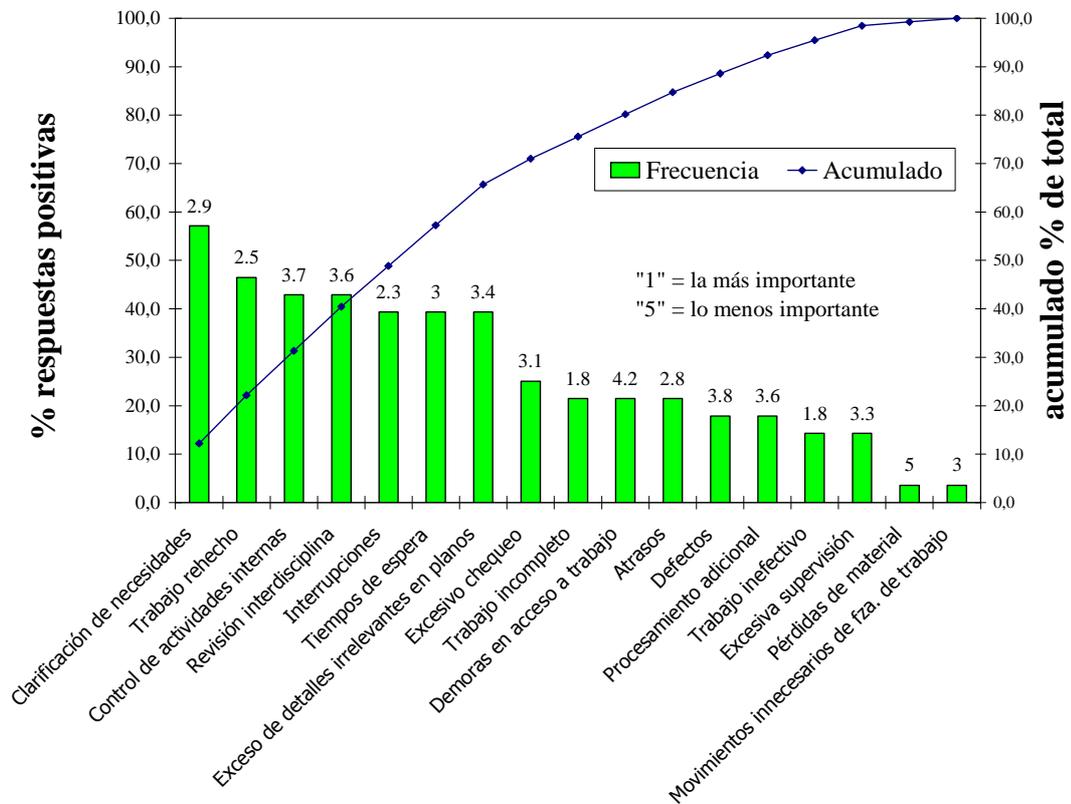


Figura 6. Frecuencia de Pérdidas

#### 4.2 Acciones de Mejoramiento

Del análisis de la etapa de diagnóstico y evaluación, fue necesario dibujar un mapa del flujo de valor ideal para intentar de visualizar cómo el proceso podría ser cambiado (Figura 7). Los aspectos fundamentales de este nuevo mapa fue la eliminación de los inventarios y permitir el flujo de productos en el proceso, por ejemplo eliminando la etapa recolección de información con un sistema de retiro de supermercado (Rother y Shook 1998) y uniendo las fases de chequeo y corrección. También, la retroalimentación entre el cliente y la administración del proyecto son esenciales para la generación de valor y un sistema que puede entregar los productos basados en las necesidades del cliente. Una apreciación más cercana al nuevo mapa nos permite detectar que el uso de diferentes herramientas de la metodología lleva al proceso de diseño hacia el nuevo mapa ideal. Por ejemplo, la coordinación interactiva puede representar las actividades de chequeo/corrección, mientras la Intranet puede ser la biblioteca con el sistema de supermercado. La idea detrás de la biblioteca-supermercado es para “almacenar” solamente la información requerida para un proyecto específico, permitiendo que los diseñadores “retiren” sus datos cuando los necesiten. Posteriormente a la emisión de los planos y documentos, el sistema de supermercado marca la producción con las necesidades del cliente, por ende distribuyendo a la construcción con los productos que necesitan para avanzar físicamente en el proyecto.

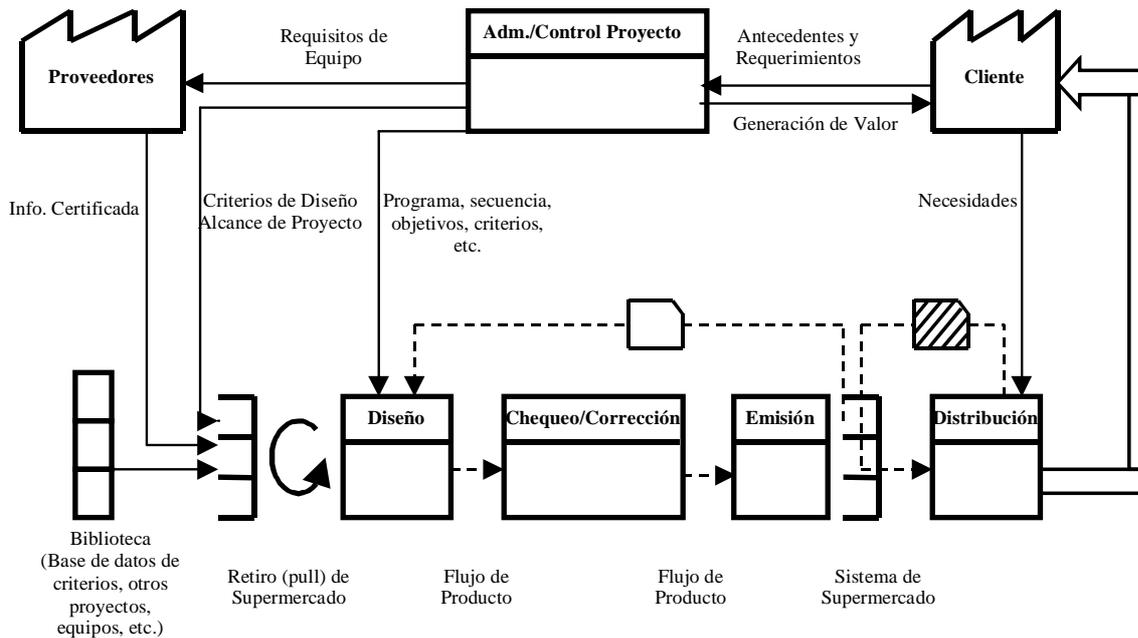


Figura 7. Ejemplo del Mapa del Flujo de Valor Ideal para el Proceso de Diseño

Las herramientas de mejoramiento que fueron implementadas son Intranet, coordinación interactiva, listas de chequeo antes y después del diseño y capacitación. La empresa de diseño estaba desarrollando su Intranet en el momento de la investigación, lo cual facilitó que su construcción fuese específicamente diseñada para los reducir los problemas y categorías identificados en la etapa de diagnóstico y evaluación. Por ejemplo, una de las principales causas de pérdidas fue la información no disponible por lo que se creó una base de datos organizada en la Intranet que estuviera accesible para todos. También, la etapa de recolección de información en la producción presentaba los mayores tiempos de espera, i.e., tiempo que el trabajo no pudo ser ejecutado por razones externas a los trabajadores. Nuevamente, la Intranet fue ajustada para reducir este tipo de espera. La coordinación interactiva fue determinada para reducir los tiempos entre las diferentes disciplinas cuando se producen planos y documentos comunes; en algunos casos los planos tomaron más de una semana en pasar por cada disciplina antes de volver al diseñador original. La idea era simultáneamente diseñar y chequear los planos y substancialmente reducir el número de correcciones, evitando interferencias entre los diseños. Listas de chequeo ya estaban siendo utilizadas por la empresa para revisar los diseños, pero se hicieron unas nuevas para determinar la mínima cantidad de información necesaria para comenzar un plano o documento. A pesar de que la etapa de ingeniería y diseño es iterativo en generar soluciones óptimas, una de las causas más frecuentes de pérdidas fue el costoso rehacer trabajos debido a diseños que comenzaron sin toda la información necesaria. En la mayoría de los casos, los diseñadores están obligados a comenzar su labor con un conocimiento parcial de la información (por ejemplo los pesos finales para el diseño de fundaciones). Por lo menos en algunas áreas o fases de ingeniería como el diseño de detalles es necesario asegurar una mínima cantidad de datos antes de comenzar, y por ende paradójicamente ahorrar tiempo a través del retraso de decisiones. El formato usado para este propósito es una matriz que contiene todos los productos de una disciplina específica como filas y la información necesaria de su propia disciplina, otras disciplinas, el cliente, los proveedores, etc. como columnas.

Los errores y cambios en los productos fueron constantemente monitoreados durante toda la investigación. Hubo dos controles que abarcaron períodos de tres meses cada uno para analizar los tiempos de ciclo, la distribución del tiempo y los tiempos de espera en el proceso.

## 5. RESULTADOS

Inicialmente, los errores y cambios en los diferentes productos eran variables e irregulares: dependiendo del proyecto, la fase de ingeniería, o aún del progreso dentro de cierta fase. Esto muestra la gran incertidumbre y variabilidad de la etapa de diseño. El promedio antes de la implementación de las herramientas de mejoramiento era de 2.4 errores por producto y 0.15 cambios por producto. La Figura 8 resume la evolución de los errores unitarios en cuatro proyectos. Como se puede apreciar, no sólo disminuyó el promedio en 44%, pero también la variabilidad: de una desviación estándar de 1.1 a 0.4 en los errores unitarios de los productos. Esto revela el cumplimiento de estabilizar el flujo de trabajo en el proceso. Los cambios se redujeron en 13%, pero mantuvieron su variabilidad.

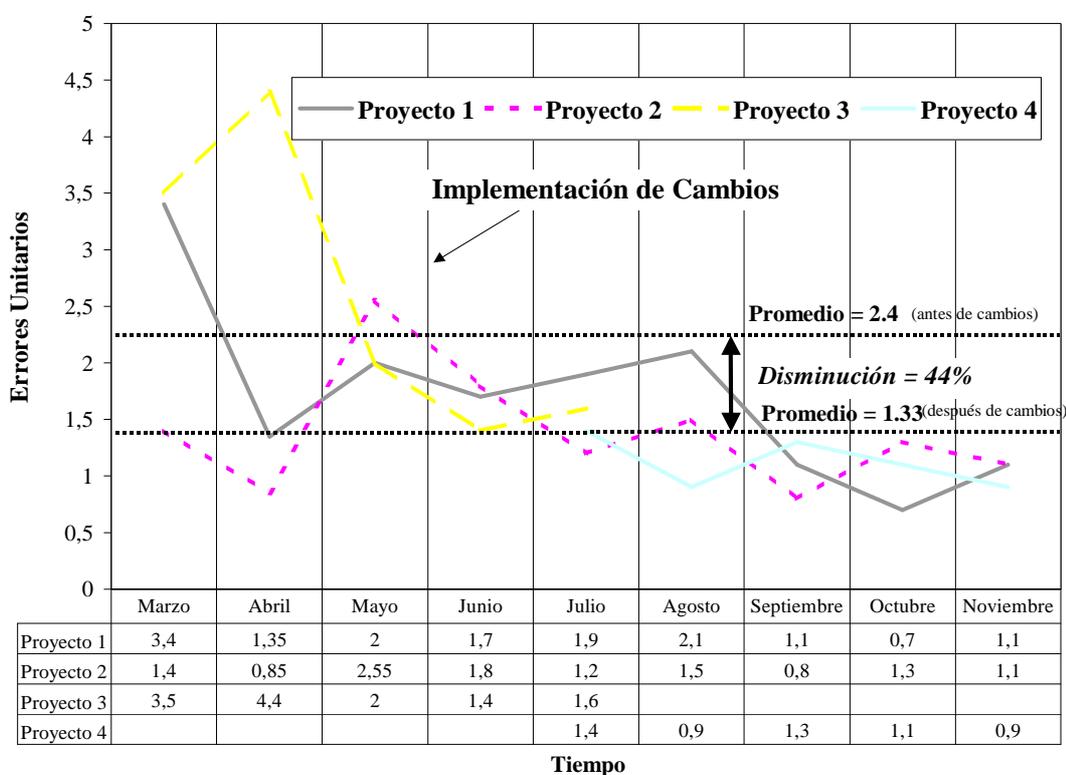


Figura 8. Evolución de los Errores Unitarios de los Productos

La distribución de tiempo de las actividades dentro del proceso de diseño fue basada en su tiempo de utilización, i.e. la cantidad de tiempo que se trabajó en cualquiera de las siguientes cinco categorías: recolección de información, diseño, chequeo, corrección y emisión. Inicialmente, la categoría de diseño representaba un 50.2% de la distribución del tiempo, pero incrementó a un 65.6% del tiempo total del proceso. Este incremento en la proporción de la actividad que agrega valor y disminución de las actividades que no agregan valor (todas las demás) fue de 31% (ver Figura 9). Si se hace la suposición de que se mantiene la tasa de producción, este incremento de la proporción de diseño es un aumento directo de productividad de la etapa de ingeniería en un 31%. También, la importante reducción del tiempo usado en la recolección de información (46% de

mejoramiento) muestra el efecto de los cambios específicos para mejorar esta actividad (como la Intranet y listas de chequeo previos al diseño).

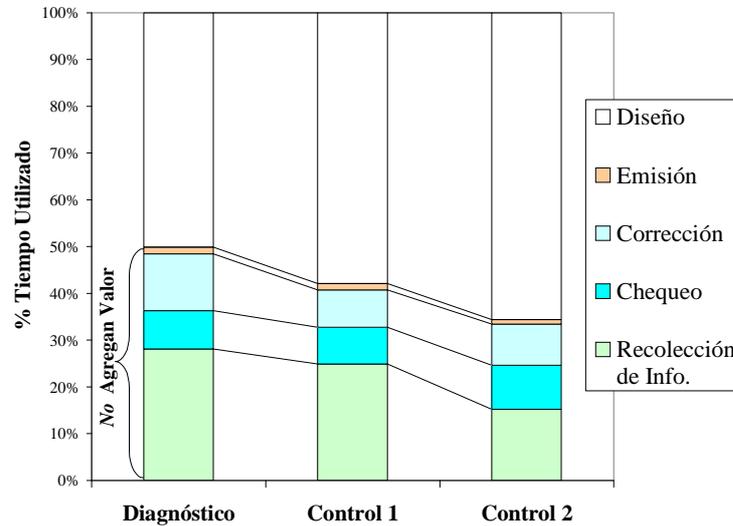


Figura 9. Evolución de la Distribución del Tiempo

En cuanto a los tiempos de ciclo, fue necesario usar el concepto de utilización para comparar los valores entre diferentes proyectos. Posterior a la implementación de las herramientas y los cambios la utilización incrementó aproximadamente un 14% para los planos y un 10% para los documentos.

Una importante reducción en los tiempos de espera del proceso fue observada a través de los controles. Como se indica en la Figura 10, hubo una reducción de un 53% que demuestra la importancia de las herramientas para atenuar este tipo de categoría. Esto significa que hubo más de 50% menos interrupciones y tiempos de espera que impiden a los diseñadores de continuar su trabajo. En general, los tiempos de espera más frecuentes fueron los relacionados con problemas de información y cambios que fueron substancialmente reducidos con la Intranet y las listas de chequeo previos al diseño.

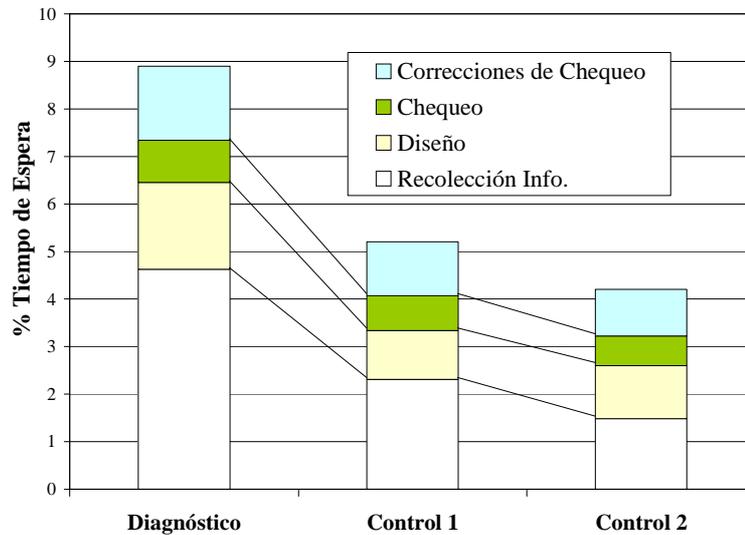


Figura 10. Porcentaje de Tiempos de Espera en el Proceso

Como resumen, la Figura 11 indica los resultados esenciales obtenidos en la aplicación de la metodología de mejoramiento en una empresa de diseño.

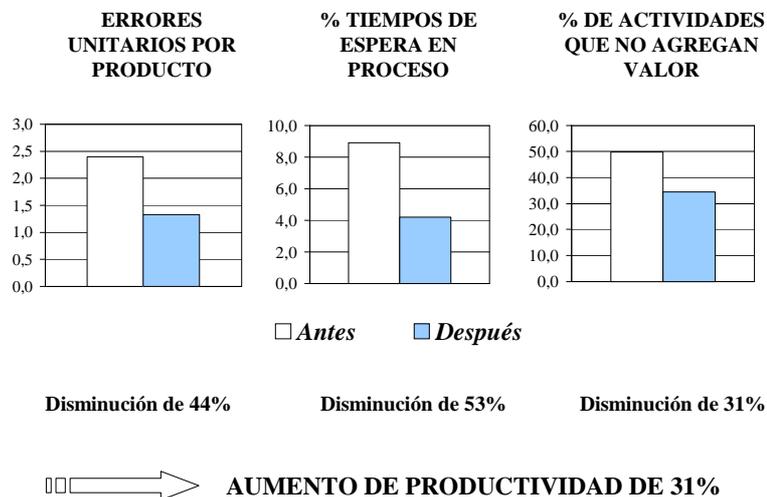


Figura 11. Resultados Esenciales de la Metodología de Mejoramiento

Los resultados obtenidos provienen de una investigación para incorporar principios de “lean producción” en la gestión del diseño, sin un compromiso formal de la organización. En otras palabras, la metodología fue aplicada sólo con un involucramiento parcial de los trabajadores y la

administración en el proceso. Por lo tanto, en la opinión de los autores, el potencial de mejoramiento es aún mayor cuando existe un esfuerzo en conjunto con toda la organización.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

La gestión del proceso de diseño de acuerdo a los principios de “lean production” reúne diferentes perspectivas para modelar, analizar y comprender al proceso. Específicamente, considera al proceso de diseño como un conjunto de tres modelos distintos: conversión, flujo y generación de valor. De esta forma, se propuso y se aplicó en una empresa de diseño una metodología de mejoramiento que fue basada en estos principios y conceptos. Los exitosos resultados de la aplicación de la metodología validan su uso, generando mejoramientos en el proceso de diseño al reducir errores de los productos, tiempos de ciclo y la proporción de las actividades que no agregan valor; por ende incrementando la productividad en un 31%. Al mismo tiempo, el desempeño de los proyectos mejoró al proveer la construcción con productos de mejor calidad, menor variabilidad y en menor tiempo. Más aún, los resultados son sólo una fracción del potencial de mejoramiento que es posible con el apoyo estratégico de las empresas y el compromiso de toda la organización.

Un aspecto fundamental que es necesario enfatizar es la necesidad de crear consciencia acerca de los conceptos “lean” en la gestión de diseño. Las personas generalmente no conocen los principios involucrados y tienden a trabajar de acuerdo a sus hábitos, fundamentalmente basado en el modelo tradicional de conversión. Más aún, ellos no han cuestionado como este tipo funciona o si existen métodos alternativos para la administración del proceso de diseño. De esta forma, el enfoque en los flujos y la generación de valor proporciona un importante complemento para apoyar la comprensión del proceso. De hecho, es la base para su análisis y posterior mejoramiento. Esto significa que las herramientas y métodos que apoyan los conceptos y principios de esta forma de gestión del diseño deben ser introducidos y aplicados.

No es fácil implementar cambios en las empresas. De hecho, muchas personas se sintieron controladas cuando se realizó la etapa de diagnóstico y evaluación. En general, no les gustaba tener que especificar que hacían en cada instante y cómo distribuían su tiempo. Esto es una reacción natural, pero no puede ser evitada para poder producir mejoramientos. La única forma de realmente conocer los flujos son conociéndolos; determinando sus características completas como tipos, magnitudes, variabilidad, etc. No obstante, estas barreras culturales tienden a caer cuando los mejoramientos comienzan a aparecer y los propios trabajadores se benefician con los nuevos métodos de trabajo.

## **7. AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean agradecer a la empresa de ingeniería MINMETAL por su participación en esta investigación y al Dr. Glenn Ballard por sus valiosos comentarios de este trabajo.

## 8. REFERENCIAS

- AKAO, Y. (1990), "An Introduction to Quality Function Deployment". *Quality Function Deployment (QFD): Integrating Customer Requirements into Product Design*. Akao, Y. (ed.), Productivity Press, Cambridge, Massachusetts, 1-24.
- ALARCÓN, L.F. (1997), "Training Field Personnel to Identify Waste and Improvement Opportunities". *Lean Construction*. Alarcón, L.F. (ed.), A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 391-401.
- AUSTIN, S., BALDWIN, A., AND NEWTON, A. (1994), "Manipulating the Flow of Design Information to Improve the Programming of Building Design". *Construction Management and Economics*, London, Spon, 12 (5) 445-455.
- BALLARD, G. (1994), *The Last Planner*. Northern California Construction Institute. Monterey, California.
- BALLARD, G. AND HOWELL, G. (1998), "Shielding Production: An Essential Step in Production Control". *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, 124 (1) 11-17.
- BALLARD, G. AND KOSKELA, L. (1998), "On the Agenda of Design Management". *Proc. 6th Annual Lean Construction Conference*. Guarujá, Brazil, 13-15 August.
- CORNICK, T. (1991), *Quality Management for Building Design*. Rushden, Butterworth. 218 p.
- FORMOSO, C., TZORTZOPOULOS, P., JOBIN, M., AND LIEDTKE, R. (1998), "Developing a Protocol for Managing the Design Process in the Building Industry". *Proc. 6th Annual Conf. Intl. Group for Lean Construction*, Guarujá, Brazil, 13-15 August.
- FREIRE, J. (2000), *Metodología para el Mejoramiento del Proceso de Diseño en Proyectos*. Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- FREIRE, J. Y ALARCÓN, L.F. (2000), "Achieving a Lean Design Process". *Proceedings IGLC 8*. 17-19 July, Brighton, U.K.
- HUOVILA, P., KOSKELA, L. AND LAUTANALA, M. (1997), "Fast or Concurrent: The Art of Getting Construction Improved". *Lean Construction*. Alarcón, L.F. (ed.), A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 143-159.
- KOSKELA, L., BALLARD, G., AND TANHUANPAA, V. (1997), "Towards Lean Design Management". *Proceedings 5th Annual Conference International Group for Lean Construction*, Gold Coast, Australia, 16-17 July, pp. 1-12.
- KOSKELA, L. AND HUOVILA, P. (1997), "On Foundations of Concurrent Engineering" in Anumba, C. and Evbuomwan, N. (eds.). *Concurrent Engineering in Construction CEC '97*. 3-4 July. The Institute of Structural Engineers, London, p. 22-32.
- ROTHER, M. AND SHOOK, J. (1998), *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. v.1.1, Oct., The Lean Enterprise Institute, Brookline, Mass.
- TURNER, J.R. (1993), *The Handbook of Project-Based Management*. McGraw-Hill, London. 540 p.
- TZORTZOPOULOS, P. AND FORMOSO, C. (1999), "Considerations on Application of Lean Construction Principles to Design Management". *Proceedings IGLC 7*. 26-28 July. University of California, Berkeley, CA.

### **Javier Freire**

Ingeniero Civil, M.Sc.  
Ingeniero de Proyectos  
Corporación de Desarrollo Tecnológico de la  
Cámara Chilena de la Construcción  
Santiago, Chile

Civil Engineer, MSc  
Project Engineer,  
Technological Development Corporation  
Chilean Chamber of Construction  
Santiago, Chile  
[jfreire@cdt.cl](mailto:jfreire@cdt.cl)

***Luis Fernando Alarcón***  
Profesor de Ingeniería Civil  
Departamento de Ingeniería  
Y Gestión de la Construcción  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile

Professor of Civil Engineering  
Department of Construction Engineering  
and Management  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Santiago, Chile  
[lalarcon@ing.puc.cl](mailto:lalarcon@ing.puc.cl)