



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

“LEAN CONSTRUCTION”

**T E S I S**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**ESPECIALISTA**

PRESENTA:

**LUIS IVÁN IBARRA GÓMEZ**

DIRECTOR DE TESIS:

**DR. JESUS HUGO MEZA PUESTO**



MEXICO, DF

JUNIO 2011

## INDICE

<b>INTRODUCCIÓN I</b> .....	1
<b>ANTECEDENTES II</b> .....	2
<b>CAPÍTULO III. HISTORIA LEAN PRODUCTION (PRODUCCIÓN SIN PÉRDIDAS).</b> .....	3
<b>CAPÍTULO IV LEAN CONSTRUCTION.</b> .....	6
4.1 Objetivo del <i>lean construction</i> . .....	9
4.2 Características del <i>lean construction</i> . .....	9
4.3 Principios de <i>Lean Construction</i> .....	10
4.4 Reducir las actividades que no agregan valor. ....	12
4.5 Incrementar el valor del producto. ....	12
4.6 Reducir la variabilidad.....	12
4.7 Reducir el tiempo del ciclo .....	13
4.8 Simplificar información mediante minimización de los pasos .....	14
4.9 Incrementar la transparencia en los procesos .....	14
4.10 Enfocar el control del proceso al proceso completo.....	15
4.11 Introducir el mejoramiento continuo de los procesos.....	15
4.12 Referenciar permanentemente los procesos (Benchmarking) .....	16
<b>CAPÍTULO V MEDICIÓN DE DATOS.</b> .....	17
<b>CAPITULO VI PÉRDIDAS</b> .....	20
6.1 Identificación de las pérdidas para mejoramiento en proyectos de construcción. ....	20
6.2 Estimación de los tiempos dedicados a tareas productivas, contributivas y no contributivas en el control de avance de obra. ....	21
<b>CAPÍTULO VII CADENA DE VALOR.</b> .....	25
7.1 Mapeo de la cadena de valor. ....	26
<b>CAPÍTULO VIII LOGÍSTICA</b> .....	29
<b>CAPÍTULO IX FILOSOFÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN GENERAL</b> .....	31
<b>CAPÍTULO X LEAN APLICADA A LA CONSTRUCCIÓN</b> .....	33
10.1 Comparación entre construcción lean y construcción convencional	36
10.2 Análisis de operaciones de construcción. ....	38
10.3 Cartas de alineamiento de procesos, cartas de flujo de procesos y diagrama de flujo .....	39
10.4 Cartas de delineamiento de procesos. ....	40

10.5 Carta de flujo de procesos. ....	42
10.6 Diagrama de flujo.....	44
10.7 Medición del trabajo.....	45
10.8 Estudios de tiempo - movimiento.....	45
10.9 Cartas de balance y cartas multicuadrilla.....	46
10.10 Implementación de acciones correctivas.....	49
<b>CONCLUSIONES XI.</b> ....	51
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b> ....	52

## I INTRODUCCIÓN

El actual escenario de competitividad en el que se mueven las empresas de ingeniería, demanda nuevos enfoques de producción, donde las variables medioambientales juegan un papel relevante. En este sentido el concepto de sustentabilidad debe empezar a ser manejado por todos los agentes involucrados: ingenieros, arquitectos, mandantes, entre otros. El concepto de sustentabilidad, por ser de carácter general, se ha mantenido en un ámbito más bien conceptual, haciéndose complejo el desarrollo de herramientas que faciliten su consideración a través del ciclo de vida completo de un proyecto.

Este estudio tuvo por propósito integrar las filosofías de Construcción sustentable, *Lean Construction*, empleada como el complemento necesario para entregar una base de análisis centrada en la gestión de producción.

Como resultado, se estableció a nivel conceptual que las herramientas aplicadas en la gestión de proyectos de construcción (*Lean Construction* y Constructabilidad), entregan un soporte sólido para la operacionalización, y futura aplicación, de criterios de sustentabilidad en los procesos y etapas que involucra el ciclo de vida completo de los proyectos de construcción.

Por lo cual en esta investigación se trata de mostrar todos los elementos que componen este sistema debido a la importancia o relevancia que tiene en para el desarrollo pensando a bajo y alto nivel.



## II ANTECEDENTES

Sin duda alguna, la construcción está cambiando de una forma impresionante. Manifestándose con cambios significativos en el modo de gestión, que incorporan calidad, seguridad, especialización, productividad, tecnologías, más información y otras disciplinas de gestión.

Antes, las obras públicas eran totalmente manejadas con presupuesto fiscal, con problemas de plazos que no se cumplían, obras que aumentaban su valor y mucha ineficiencia de gestión.

Una visión similar acerca de la planificación convencional es la que tienen algunos autores como Cornick 1991; Austin 1994; Koskela 1997; Ballard and Koskela 1998; Formoso 1998. Estos autores tienen la visión de que la planificación y el control, son sustituidos en muchas oportunidades por caos e improvisaciones, causando: mala comunicación, documentación inadecuada, ausencia o deficiencia en la información de entrada de los procesos que realizamos, desequilibrada asignación de los recursos, falta de coordinación entre disciplinas y errática toma de decisiones.

Muchos son los intentos hechos para mejorar los problemas antes mencionados entre ellos están: La administración de proyectos, la ingeniería concurrente, modelos de procesos, Ingeniería del valor, nuevas formas organizacionales, apoyo de información tecnológica, nuevos índices de desempeño, etc. (Ballard y Koskela 1998). Aunque los enfoques anteriores contienen interesantes y aparentemente efectivas técnicas, están sumamente fragmentadas y carecen de una sólida base conceptual. Esta base teórica, faltante en las técnicas anteriores, debe ser entendida como una relación entre tres diferentes modelos: conversión, flujo y valor, entendiéndose por valor el nivel de satisfacción del cliente.

Una serie de investigadores, nacionales e internacionales, han realizado un esfuerzo por conceptualizar los problemas de la industria de la construcción, estructurando un marco teórico que nos permita entender mejor qué tipo de producción es la construcción. Esta referencia teórica desarrollada recibe el nombre de "*Lean Construction*" o "Construcción sin Pérdidas", cuya función es minimizar o eliminar todas aquellas fuentes que implique pérdidas, en el entendido que estas pérdidas implican menor productividad, menor calidad, más costos, etc.

*Lean Construction* nace como una necesidad de adoptar una serie de estándares emanados de la empresa manufacturera. La industria de la construcción observó por muchos años, de manera expectante, cómo el mundo oriental le entrega una gran cantidad de ideas, filosofías y prácticas al mundo occidental. La nueva filosofía de producción ha demostrado que las nuevas técnicas, difundidas ampliamente en la industria automotriz, podían ser implementadas de forma exitosa en la industria de la construcción. Experiencias internacionales han demostrado que la implementación de la filosofía *Lean Construction* puede mejorar la coordinación de todos los agentes participantes en el proyecto y por ende aumentar la fiabilidad de éste.

### III HISTORIA LEAN PRODUCTION (PRODUCCIÓN SIN PÉRDIDAS)

Al finalizar la década de los años veinte se presenta en Estados Unidos una crisis de sobreproducción, manifestada en un subconsumo de masas frente a la capacidad productiva real de la sociedad, lo que hace necesario implementar ajustes que dan paso al establecimiento generalizado del fordismo, un modelo productivo y distributivo innovador, ya que logra generar un mercado de masas para la gran producción acumulada. En el fordismo, la forma organizacional o el control del proceso de trabajo se da a través de las normas incorporadas al dispositivo automático de las máquinas, o sea, es el propio movimiento de las máquinas (caso de la cadena de montaje) quien dicta la operación requerida y el tiempo asignado para su realización<sup>1</sup>.

Con Ford, la cadena de montaje viene a sustituir las técnicas taylorianas<sup>4</sup> de medición de tiempos y movimientos y a someter a acciones del personal a una cadena regulada de producción. Las reglas generales para eliminar el trabajo sobre asignado y la escala de producción cambian por completo.

En efecto, gracias a los transportadores de materiales se eliminan los tiempos muertos del taller y con ello se logra una mayor efectividad de la jornada de trabajo. De la misma manera se reduce el trabajo complejo al lograr una importante parcelación de la ejecución, una máxima de la subdivisión del trabajo. Aquí la producción de partes estandarizadas y en grandes cantidades se convierte en la norma, el resultado es una mayor producción, la producción en masa, y una combinación de aumento de Productividad y de intensidad de trabajo.

Después de la Segunda Guerra Mundial la expansión de las organizaciones de producción en masa fue notable, la estabilidad de sus ambientes, esto es de sus mercados, generó grandes estructuras burocráticas; rígidas, pesadas, previsibles, que respondían totalmente a dichos mercados, sin embargo, a fines de los 60s el modelo empezó a erosionarse con la ostensible disminución de Productividad.

Alain Lipietz (1985) es claro cuando dice, al cabo de medio siglo de Taylorismo y Fordismo se volvió natural esperar que cada año un obrero produjera más que el año precedente y no se encontraba la causa para constatar que ese crecimiento disminuía, pero la productividad en el ingenio humano, no pueden ser explotados por los métodos taylorianos; los del embrutecimiento, los de la parcelación de las tareas, los de la dedicación de turnos de trabajo de una forma definitivamente repetitiva.

El modelo llegaba a su límite y habría que readecuarlo, y justamente en las innovaciones que incorpora el toyotismo a la organización del proceso de trabajo, se encuentran algunas salidas a la inflexibilidad de la estructura burocrática de la producción en masa, aunque el problema de reactivación económica aun no se resuelva. Aquí hay que destacar que el Sistema *Toyota* tuvo su origen en la necesidad particular de Japón de producir pequeñas cantidades de muchos modelos de productos. Por tanto el Sistema que se deriva de esta necesidad es fundamentalmente competitivo en la diversificación, por su flexibilidad, en contraposición al sistema de producción en serie, contrario al cambio.

---

<sup>1</sup> Coriat B et Al, 1988

El aporte principal de *Toyota* es haber generado un sistema, una forma de organización del trabajo para lograr producir a bajos costos y volúmenes limitados de productos bien diferenciados<sup>2</sup>.

Su fundador el Ing. Ohno (1978) considera las diferencias con el método estadounidense al indicar que en la rama automotriz norteamericana se utiliza un método de reducción de costos al producir automóviles en cantidades constantemente crecientes y en una variedad restringida de modelos, mientras que en *Toyota* se fabrica a un buen precio pequeños volúmenes de muchos modelos diferentes. En esa vertiente el reto para los japoneses fue lograr ganancias de productividad que no usaran los recursos de las economías de escala y la estandarización taylorista y fordiana. La racionalización del proceso de trabajo implicó, el principio de costo mínimo o "fábrica mínima", que aduce a la reducción de stocks, materiales, equipos, espacios y trabajadores y se complementa con el principio de "fábrica flexible" sustentada en la flexibilidad del trabajo en la asignación de las operaciones de fabricación para lograr un flujo continuo y pronta atención a la demanda.

El resultado es un nuevo tipo de fábrica: la fábrica ligera transparente y flexible, sus pilares son la producción en el momento preciso y la auto activación, de estas ideas nace el término "*Lean*" que ya lo podemos definir como un sinónimo de mínimo, ligero, flexible u otros muchos términos afines, tales como; pobre, magra o sin pérdidas.

Ciertamente, la celeridad del cambio y la complejidad ambiental elevan las presiones competitivas y aumentan el interés por encontrar la forma organizacional y la estrategia adecuada para lograr ventaja competitiva. Las características del Modelo Japonés han sido bien resumidas (Womack J.P., Jones D.T., Roos D. 1990; Golhar D., Stamm C.L. 1991; Bonnazzi G., 1993) en los términos siguientes:

1. Eliminación de los recursos redundantes considerados como pérdidas y la implantación del *Lean Production*, la diferencia con el modelo fordista reside en la necesidad de menos existencias, menos espacio, menos movimiento de materiales, menos tiempo para preparar la maquinaria, menos sistemas informativos y tecnologías más austeras y menos trabajadores. El suministro justo a tiempo (JIT) de los materiales que se van a utilizar o ensamblar es la forma de conseguir esos objetivos. El JIT regula también la relación con el cliente final y los programas de producción que son elaborados con el objeto de que presenten la mayor flexibilidad y sensibilidad posible a las variaciones del mercado.
2. Los subcontratistas son elegidos no por el costo total de su trabajo, sino dependiendo de su capacidad para colaborar con la empresa líder en proyectos a largo plazo. El resultado es el desarrollo de una compacta red cooperativa basada en relaciones de confianza, de recíproca transparencia y contratos a largo plazo.
3. La participación del personal en las decisiones sobre producción, lo que presupone una elevada capacidad profesional de los trabajadores, la cual no se limita a la destreza en las operaciones rutinarias sino que se manifiesta en la "multi-especialización de los trabajadores ", en la decisión autónoma de interrumpir el flujo cada vez que se observan anomalías y defectos, a fin de

---

<sup>2</sup> Coriat B., 1992



eliminarlos de inmediato y en la colaboración para solucionar los problemas planteados por la introducción de innovaciones tecnológicas.

4. El objetivo de la Calidad Total o Cero Defectos, sin aumento de costos, se basa en el concepto de que la eliminación de un defecto es tanto más rápida y económica cuanto más próximo se está al momento en que se ha detectado el defecto. La consecuencia es que la calidad se incorpora al proceso productivo con la progresiva eliminación de los controles posteriores. Las diversas fases del proceso productivo se conciben como una relación entre el proveedor y el cliente regulada por la auto certificación de la calidad del material o de la prestación efectuada.

Hay mejoramiento continuo (*Kaizen*) pues cada uno de los aspectos del proceso de producción está sujeto a discusión y experimentación de posibles soluciones.

Finalmente el sistema de premios se basará en incentivos grupales por innovación y producción de alta calidad de la producción en lugar de incentivos para producción individual. El control debe ser por autorregulación, tendiendo a disminuir los controles externos, tales como inspecciones técnicas y controles de calidad posteriores a la ejecución.

#### IV *LEAN CONSTRUCTION*

En la década del 90 en Finlandia, donde el Ingeniero civil Lauri Koskela sistematizó los conceptos más avanzados de la administración moderna( Benchmarking; *Kaizen* o Mejoramiento continuo; Justo a Tiempo, etc.) junto con la Ingeniería de Métodos y Estudio del Trabajo para reformular los conceptos clásicos de programar y control de Obras. En 1993 realizó el 1er. Taller de *LEAN CONSTRUCTION* en Espoo(Finlandia), teniendo en cuenta las ideas de Shingo(1988), Schonberger(1990) y Plassl(1991).

*Lean Construction* acepta la producción de la Ohno criterios de diseño del sistema como un nivel de perfección.

La industria de la construcción ha rechazado muchas ideas de fabricación debido a la creencia de que la construcción es diferente. Los fabricantes hacen las partes que intervienen en los proyectos, pero el diseño y construcción de proyectos singulares y complejos en entornos de gran incertidumbre en gran tiempo y la presión programación es fundamentalmente diferente de hacer las latas.

*Lean* la producción invita a una mirada más cercana. Ciertamente, el objetivo de una entrega de una reunión del proyecto requisitos específicos del cliente en tiempo cero suena como el objetivo para cada proyecto, y las pruebas de residuos en términos de Ohno es abrumadora. Residuos de construcción y fabricación surge de la misma actividad centrada en el pensamiento, "Mantenga la presión intensa para la producción de cada actividad, porque la reducción del coste y la duración de cada paso es la clave para mejora". Ohno sabía que había una mejor manera de diseñar y hacer las cosas.

La gestión de la construcción con el *Lean* es diferente de la práctica contemporánea típica porque;

- Tiene un conjunto claro de objetivos para el proceso de entrega,
- Está orientado a maximizar el rendimiento para el cliente a nivel de proyecto,
- Diseños al mismo tiempo productos y procesos, y rige el control de fabricación durante la vida útil del proyecto.

Por el contrario, la forma actual de gestión de la producción en la construcción se deriva de la misma actividad enfoque centrado en la producción en masa y gestión de proyectos.

Su objetivo es para optimizar la actividad de proyecto por la actividad, asumiendo el valor del cliente ha sido identificado en diseño. La producción se logró a través de un proyecto al romper el primer proyecto en pedazos, es decir, el diseño y la construcción, a continuación, poner las piezas en una secuencia lógica, la estimación de la tiempo y los recursos necesarios para completar cada actividad y por lo tanto el proyecto. Cada pieza o la actividad es más descompuesto hasta que esté contratado o asignado a un responsable de la tarea, capataz o equipo de jefe. El control es concebido como el seguimiento a cada contrato o en contra de su actividad calendario y el presupuesto proyecciones. Estas proyecciones se acumulan a nivel de proyecto de los informes. Si actividades o cadenas a lo largo de la caída ruta crítica atrás, se hacen esfuerzos para reducir los costes y duración de la actividad infractora o cambiar la secuencia de trabajo.

El enfoque en las actividades oculta los residuos generados entre continuación de las actividades por la liberación imprevisible de la labor y la llegada de los recursos necesarios.

En pocas palabras, las formas actuales de producción y gestión de proyectos se centran en las actividades y caso omiso de las consideraciones de flujo y el valor<sup>3</sup>.

Controlar el efecto combinado de la dependencia y la variación es una preocupación de primer magra de producción. Goldratt (1986) ilustra los efectos en la producción de "La Meta" y el aplicación a la construcción se demuestra por Tommelein et al. (1999) en el "Desfile de Oficios.

El problema de la dependencia y la variación puede ser ilustrado por lo que sucede en el tráfico pesado en una autopista. Si cada coche pasó exactamente a la misma velocidad a continuación, el espaciamiento entre los coches podrían ser muy pequeñas y la capacidad de la autopista se vería limitado por lo que la velocidad se creó.

Cada coche se depende de la anticipación para la liberación del pavimento y la variación que se cero. En efecto, no habría ningún inventario de pavimento sin utilizar. En realidad, por supuesto, cada uno coche usa el pavimento que se le facilite desde el coche por delante, pero varían las velocidades.

Bajo la presión para llegar al trabajo o en casa, cerrar las brechas entre los coches y cualquier variación en demandas velocidad de respuesta inmediata de los vehículos siguientes. A medida que el cerrar las brechas, las pequeñas variaciones en la velocidad de propagación a lo largo ya través de los carriles. Una pequeña vacilación puede llevar a un pie enorme ola como el tráfico disminuye a paso de tortuga. La recuperación es difícil porque es imposible conseguir que todos para acelerar suavemente una copia de seguridad a la velocidad estándar y el intervalo. De alta velocidad en cualquiera momento no garantiza el tiempo de viaje mínimo en condiciones de dependencia y la variación. La idea de que no llegue a casa más rápido por conducir tan rápido y tan cerca del vehículo que va adelante es en contra del sentido (al menos para los adolescentes). Ciertamente, el propio sistema no funciona así cuando la dependencia es más estricta y una mayor variación.

Gestión de la interacción entre las actividades, los efectos combinados de la dependencia y variación, es esencial si vamos a entregar los proyectos en el menor tiempo.

Minimizar los efectos combinados de la dependencia y la variación se convierte en una cuestión central para la planificación y sistema de control en la duración del proyecto se reduce y aumenta la complejidad. (La complejidad es definida por el número de piezas o actividades que pueden interactuar.) La necesidad de mejorar fiabilidad en circunstancias complejas y rápidas es obvia. Las nuevas formas de planificación y de control se requieren.

---

<sup>3</sup> Koskela 1992, Koskela y Huovila 1997

El primer objetivo de la construcción sin pérdidas debe ser para entender completamente la base "física" de la producción, los efectos de la dependencia y la variación a lo largo de las cadenas de suministro y montaje.

Estos problemas físicos son ignorados en la práctica actual, que tienden a centrarse en el trabajo en equipo, comunicación y contratos comerciales. Estas cuestiones son más humanas en la parte superior de listas practicantes de las preocupaciones porque no, de hecho no puede ver la fuente de sus problemas. No es que estas personas sean torpes, pero que carecen de la lengua y conceptual base para entender el problema en términos de producción física. El desarrollo de la asociación ilustra este punto.

La asociación tiene mucho sentido desde la perspectiva de la actividad. Pero pocos se dan cuenta es una asociación solución a la falta de control central para administrar la producción en condiciones de alta incertidumbre y complejidad. En estas circunstancias, los representantes de cada actividad (o contrato) debe ser capaz de comunicarse directamente. Desde el entendimiento de la física de producción, la asociación no es la evidencia de un fracaso en la gestión de la producción, sino que proporciona la oportunidad de colaboración para el rediseño del sistema de planificación para apoyar a cerca de coordinación y flujo de trabajo fiable.

Lean apoya el desarrollo del trabajo en equipo y la voluntad de desplazar las cargas a lo largo de cadenas de suministro. La asociación, junto con las relaciones de pensamiento "*Lean*" hacer rápida posible aplicación. En caso de asociación es la construcción de la confianza sobre la construcción de fiabilidad. La confianza es la actitud humana que surge en condiciones de fiabilidad. No es probable confiar si no se demuestran la fiabilidad.

La fiabilidad es el resultado de los sistemas de forma en que se diseñó. Por supuesto hay personas que administran los sistemas y determinan los que hacen un buen trabajo. El problema es que los sistemas de producción no funcionan bien cuando todas las personas tratan de optimizar su rendimiento sin entender cómo sus acciones afectan.

El problema de la adecuación del trabajo al trabajo disponible ofrece un buen ejemplo de la diferencia entre la visión contemporánea de los lugares de trabajo.

"Correspondencia de trabajo a trabajo" Contar con los recursos a mano para un equipo a trabajar de manera constante y sin interrupción. "mini contrato", que es más o menos independiente de otras asignaciones, y establece que la persona a cargo responsable de la organización de los recursos y la dirección de la tripulación.

Para ser justos, las empresas de logística sistemas que tratan de obtener los recursos cercanos a la tripulación y unos pocos en realidad tratan de montar y asignar paquetes de trabajo. Pero la mayoría de los capataces son los responsables de la recopilación final de los recursos y asegurar que sus equipos puedan trabajar de forma continua. Cuando este enfoque no produce resultados aceptables, cuando los números son malos, la gestión asume el capataz o la tripulación no está funcionando.

Las empresas suelen mantener sistemas complejos de control de costos para medir este rendimiento. Estos sistemas son las manifestaciones de las teorías de causa y efecto de funcionamiento en la empresa. En el corazón de este modelo es la creencia de que la

tripulación es esencialmente independiente y que todos los gastos con cargo a una cuenta surgen dentro de los esfuerzos necesarios para completar la asignación de la tripulación.

La vista de la construcción sin pérdidas es diferente, ya que considera que el problema de la producción es físico en términos de que la tripulación trabaja a tasas variables utilizando los recursos suministrados a diferentes tasas. Que se ponga en venta la mano de obra disponible para trabajar es un problema difícil de diseñar sistemas con un número limitado de "Soluciones". Lean trabaja para aislar a la tripulación de la variación de la oferta, proporcionando una cartera adecuada (una distancia de seguridad entre los coches) o trata de mantener un exceso de capacidad en el la tripulación para que puedan acelerar o retardar las condiciones según se exijan.

#### **4.1 Objetivo del *lean construction***

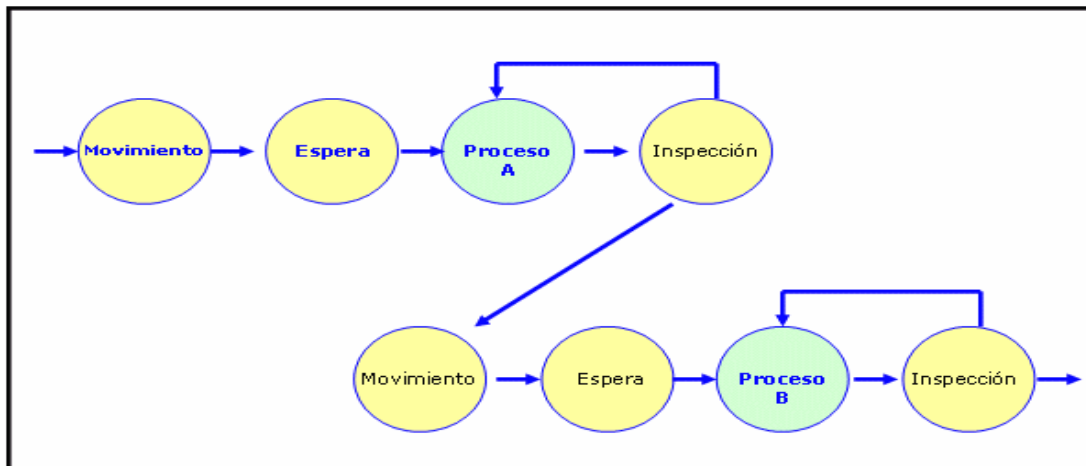
Las redes orientadas y cerradas siempre tienen actividades con holguras y el objetivo es convertir dichas actividades en críticas (holgura cero) pero teniendo en cuenta los flujos, los mismos que deben ser reducidos al mínimo con el mejoramiento continuo de la disposición en planta (*layout plant*) que repercute en una mejora en la producción y por ende en la Productividad.

#### **4.2 Características del *lean construction***

- 1.-Trabajo en equipo.
- 2.-Comunicación permanente.
- 3.-Eficiente uso de recursos.
- 4.-Mejoramiento continuo (*kaizen*).
- 5.-Constructabilidad
- 6.-Mejoramiento de la productividad apoyándose en la Ingeniería de Métodos como las cartas de balance.
- 7.-Reducción de los trabajos no contributorios (tiempos muertos), aumento del trabajo productivo y un manejo racional de los trabajos contributorios.
- 8.-Utilización del diagrama causa-efecto de Ishikawa (espina de pescado).
- 9.-Reducción de los costos de equipos, materiales y servicios.
- 10.-Reducción de los costos de construcción.
- 11.-Reducción de la duración de la obra.
- 12.-Las actividades base son críticas y toda holgura es pérdida de costo y tiempo.

### 4.3 Principios de *lean construction*

La producción es un flujo de materiales y/o información desde la materia prima al producto final (figura 1). En este flujo, el material es procesado dentro de este flujo, se producen inspecciones, esperas y posteriormente movimientos de recursos hacia la actividad siguiente. Este proceso de actividades intrínsecamente diferentes representa la visión de conversión de producción; la inspección, el movimiento y la espera representa el aspecto de flujo de producción.

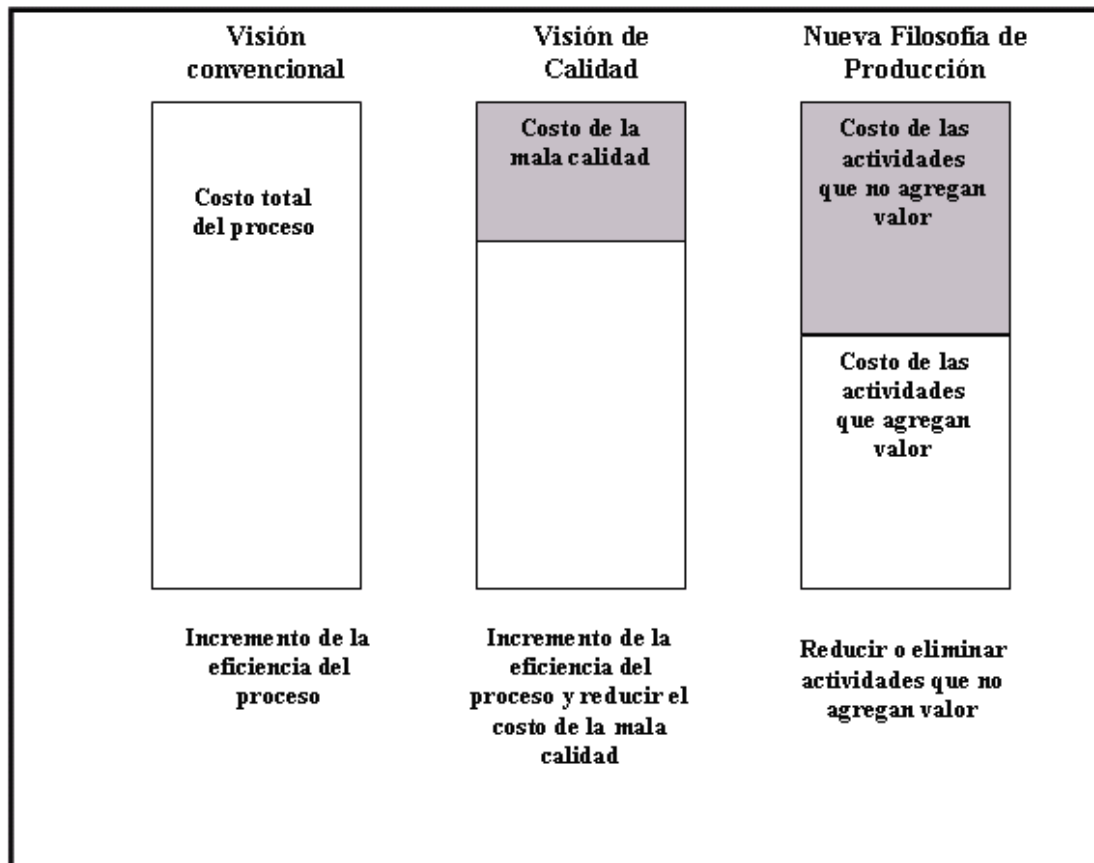


**Figura 1: Diagrama del flujo**

En esencia, la nueva conceptualización implica una doble visión de producción: esto consiste en conversiones y flujos. La eficacia total de producción es atribuible a la eficacia de ambas; el nivel de tecnología, las habilidades, la motivación, etc. de las actividades de conversión realizadas, así como la cantidad y la eficacia de las actividades de flujo por las cuales las actividades de conversión se entrelazan entre sí.

Mientras todas las actividades tienen un costo y consumen tiempo, sólo las actividades de conversión agregan valor al material o a la información, siendo transformada en un producto final. Así, el mejoramiento de actividades de flujo principalmente debería ser enfocado en su reducción o eliminación, mientras que actividades de conversión deben ser más eficientes.

La primera visión convencional está enfocada a mejorar la eficiencia del proceso completo, olvidando cada uno de los subprocesos intermedios, buscando la reducción del costo y del plazo total. La segunda visión de calidad, apunta a reducir la mala calidad del producto terminal, mediante una serie de controles intermedios y posteriores a la producción, por ende reducir el costo del proceso final. Finalmente, la visión de *Lean Construction* se concentra en reducir o eliminar las actividades que no agregan valor al producto final y a optimizar las actividades que sí agregan valor (actividades de conversión); en la figura 1.1 se muestra las diferentes visiones.



**Figura 1.1: Comparación entre las diferentes visiones de producción.**

La nueva filosofía de producción propone los siguientes principios

- Reducir las actividades que no agregan valor. (Pérdidas)
- Incrementar el valor del producto a través de la consideración sistemática de los requerimientos del cliente
- Reducir la variabilidad
- Reducir el tiempo del ciclo
- Simplificar mediante minimización de los pasos, las partes y la necesidad de conciliar información y uniones
- Incrementar la transparencia en los procesos.
- Enfocar el Control del proceso al proceso completo
- Introducir el mejoramiento continuo de los procesos.
- Balancear el mejoramiento del flujo con el mejoramiento de la conversión
- Referenciar permanentemente los procesos. (*Benchmarking*).

#### **4.4 Reducir las actividades que no agregan valor.**

Reducir la parte de actividades que no agregan valor es una pauta fundamental. La experiencia muestra que las actividades que no agregan valor dominan la mayor parte de los procesos; por lo general sólo el 3 al 20 % de pasos añaden valor<sup>4</sup>, y su parte de tiempo del ciclo total es insignificante, de 0.5 al 5 %<sup>5</sup>. Parecen haber tres causas de origen para estar las actividades que no agregan valor y son: el diseño, la ignorancia y la naturaleza inherente de producción en la construcción tocada anteriormente.

La mayor parte de los principios presentados más adelante están dirigidos a eliminar actividades que no agregan valor. Sin embargo, es posible directamente atacar las pérdidas más visibles solamente por diagramas de flujo del proceso, luego señalar y medir actividades que no agregan valor, como para el diseño de la obra se usan Diagramas de procesos e instrumentación, para la ejecución de ésta es fundamental crear diagramas de flujo de procesos constructivos claves.

Para la aplicación de este principio debemos realizar un diagramas de flujo de lo que se está haciendo actualmente, luego analizar y evaluar para mejorar este diagrama pensando en los flujos, luego realizar entrenamiento del personal para aplicar el sistema mejorado y seguirlo mejorando en busca del óptimo.

#### **4.5 Incrementar el valor del producto**

Este es otro principio fundamental. El valor se genera por la realización de exigencias del cliente, no como un mérito inherente de conversión. Para cada actividad hay dos tipos de clientes, el cliente interno y el cliente externo o final. Como esto parece evidente, otra vez tenemos que preguntar por qué las exigencias de cliente no han sido consideradas.

El fundamento práctico de este principio es realizar un diseño de flujo sistemático, donde los clientes sean definidos para cada etapa, por ejemplo cuando planificamos nuestras tareas semanales, y analizadas sus exigencias, los planes de corto plazo o intermedios, deben ser mejorados en su diseño. El sistema del Ultimo Planificador propone mejores planes intermedios, en donde los clientes internos o sea las actividades siguientes, son planificados a través de una consideración sistemática de sus requerimientos.

#### **4.6 Reducir la variabilidad**

Todos los procesos de producción son variables. Hay dos motivos para reducir la variabilidad del proceso. Primero, del punto de vista del cliente un producto uniforme siempre es mejor. Taguchi propone que cualquier desviación de un valor objetivo en el producto causa una pérdida al cliente interno y al externo<sup>6</sup>.

---

<sup>4</sup> Ciampa 1991

<sup>5</sup> Stalk & Hout 1990

<sup>6</sup> Bendell, 1989



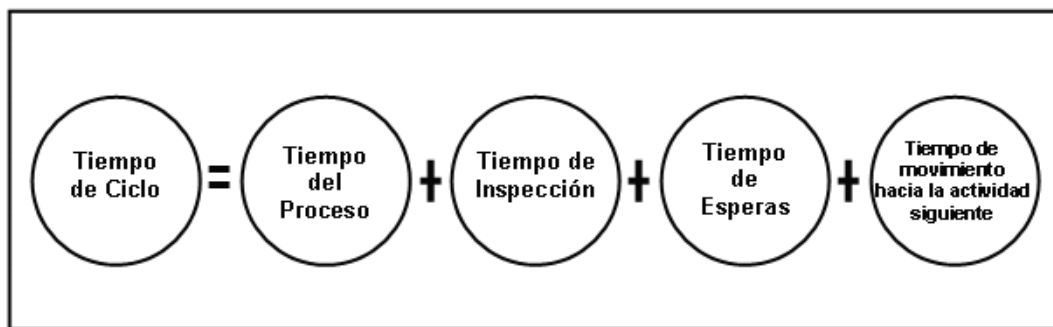
En segundo lugar, la variabilidad, especialmente de la duración de alguna actividad, aumenta el volumen de actividades que no agregan valor. Esto puede ser demostrado por la teoría de colas que la variabilidad aumenta el tiempo del ciclo del proceso<sup>7</sup>.

Recordemos que la desviación de lo planificado representa lo que se ha pasado a denominar "variabilidad" y ausencia de ésta se traduce en una planificación confiable. Demostraremos más adelante, con la aplicación del sistema del Último Planificador, que generando planificaciones más confiables, reduciremos considerablemente la variabilidad

#### 4.7 Reducir el tiempo del ciclo

El tiempo es una medida natural para los procesos de flujo. El tiempo entrega una medida más útil y universal que el costo o la calidad ya que puede ser usado de mejor forma para la mejora de los otros dos<sup>8</sup>.

Un flujo de producción puede ser caracterizado por el tiempo del ciclo, que se refiere al tiempo requerido para que un material atraviese parte del flujo. El tiempo de un ciclo puede ser representado en la figura 1.2



**Figura 1.2: Tiempos que forman parte del ciclo del proceso completo.**

Un principio básico de la nueva filosofía de producción es la compresión de los tiempos de ciclo, que obliga a la reducción de inspecciones, movimientos y esperas. En suma, los esfuerzos por eliminar las pérdidas y la compresión del tiempo total del ciclo podrían producir las siguientes ventajas<sup>9</sup>:

- Cumplimientos de las fechas planificadas.
- Reducir la necesidad de hacer pronósticos sobre la demanda futura.
- Se disminuye la interrupción del proceso de producción debido a un cambio de órdenes.
- La gestión resulta más fácil porque hay menos requerimientos del cliente.

En cada escalón de la pirámide jerárquica de organización agrega generalmente un organismo de control al proceso. Este hecho nos motiva en la búsqueda de disminuir capas de esta organización jerárquica, así autorizando a las personas que trabajan

<sup>7</sup> Krupka 1992, Hopp 1990

<sup>8</sup> Krupka 1992

<sup>9</sup> Schmenner 1988, Hopp & al. 1990

directamente dentro del flujo a tomar decisiones: "Un obrero mejor capacitado, puede tomar mejores decisiones de control y de calidad".

La eliminación de los movimientos entre procesos con el objetivo de reducir tiempos de espera y así el tiempo del ciclo.

- Cambiar la disposición de planta con el fin de reducir las distancias al mínimo.
- Cuidar el movimiento de los elementos; parcelando y sincronizando los flujos.
- Atención con las actividades que se podrían cambiar de orden secuencial a orden paralelo.

#### **4.8 Simplificar información mediante minimización de los pasos**

Si no intervienen otros factores, la complejidad misma de un producto o del proceso aumentan los costos más allá de la suma de los costos de sus partes individuales o pasos. Otro problema fundamental de complejidad es la fiabilidad: sistemas complejos son naturalmente menos confiables que sistemas más simples.

Simplemente puede entenderse como:

- Reducir la cantidad de componentes de un producto.
- Reducir la cantidad de pasos en el flujo de información o de materiales.

La división vertical y horizontal de trabajo siempre causa actividades que no agregan valor, que pueden ser eliminadas por unidades independientes (equipos multidisciplinarios y autónomos). Esfuerzos prácticos hacia la simplificación incluyen:

- Acortamiento de los flujos por la consolidación de actividades repetitivas. Debemos evaluar constantemente la calidad y el grado de aprendizaje de la mano de obra mediante sistemas de calificación del personal a corto plazo.
- Reducir la cantidad de partes del producto mediante cambios de diseño o partes prefabricadas.
- Estandarizar ciertas partes, materiales, herramientas, etc.
- Reducir al mínimo la cantidad necesaria de información para el control por una cantidad excesiva de índices de productividad medidos.

#### **4.9 Incrementar la transparencia en los procesos.**

Un proceso a la vista de la gente en sus métodos y procedimientos, es transparente. La figura "Proceso de mejoramiento continuo en cualquier proceso productivo" muestra una simple información en terreno del proceso que estamos llevando cabo y es de mucha utilidad para los participantes en el proceso constructivo. La carencia de transparencia del proceso aumenta la propensión a errar, reduce la visibilidad de errores, y disminuye la motivación para mejorar. Así, el objetivo es tratar de hacer la producción más transparente para facilitar el Control y el mejoramiento para: "hacer que el flujo principal de operaciones de principio a fin sean más visibles y comprensibles para todos los involucrados"<sup>10</sup>.

---

<sup>10</sup> Stalk & Hout 1989

Algunos esfuerzos prácticos para mejorar la transparencia son:

- Hacer los procesos directamente observables a través de planos en planta apropiados, figura anterior.
- Incorporar la información de los procesos en las áreas de trabajo, instrumentos, contenedores, materiales y sistemas de información.
- La utilización de órdenes visuales para permitir a cualquier persona inmediatamente reconocer normas y desviaciones de ellas.

#### **4.10 Enfocar el control del proceso al proceso completo**

Todo proceso de construcción atraviesa por diferentes unidades de producción en una organización, en donde cada supervisor del proceso entrega su visión de cómo deben ser hechas las cosas, provocando incertidumbre en los trabajadores. Los compromisos en la planificación solucionan en parte el control del proceso completo. El sistema del Último Planificador es el encargado de generar estos compromisos mediante reuniones de planificación periódicas.

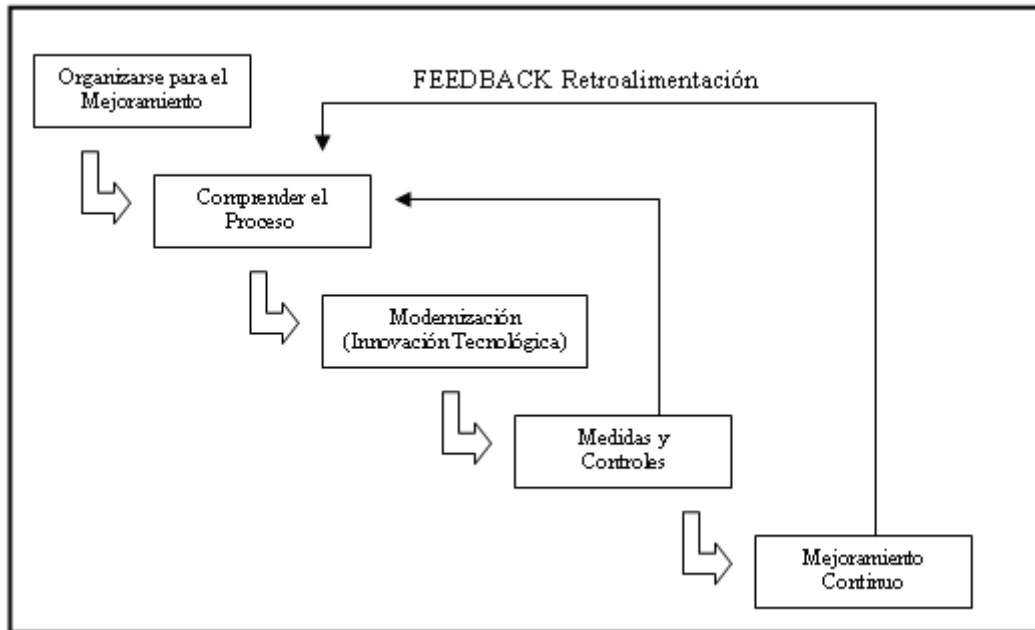
Hay al menos dos requisitos previos para el Control enfocado sobre el proceso completo.

Primero, el proceso completo debe ser medido. En segundo lugar, debe haber una autoridad de control para el proceso completo. Varias alternativas son usadas en la actualidad. En organizaciones jerárquicas, se toman soluciones más radicales de dejar a equipos auto-dirigidos en el control de sus procesos.

Para enfocar el control al proceso completo es fundamental elegir los proveedores y subcontratistas de acuerdo con el compromiso con la obra completa y no sólo con el pedido individual.

#### **4.11 Introducir el mejoramiento continuo de los procesos**

El esfuerzo de reducción de pérdidas y aumento del valor en la gestión de los procesos tiene carácter incremental, interno a la organización, que debe ser conducida u por un grupo especial responsable. Este principio está basado en el *Kaizen*, filosofía japonesa del Mejoramiento Continuo en general (no sólo de los procesos) sino de toda la cadena de valor. La figura 1.3 presenta un esquema simplificado del proceso de mejora continua.



**Figura 1.3: Proceso de mejoramiento continuo en cualquier proceso productivo.**

El trabajo en equipo y la gestión participativa se constituye en los requisitos esenciales para la introducción de las mejoras continuas en los procesos. Estandarización de los procedimientos, de forma de consolidar las buenas prácticas constructivas y servir de referencia para futuras mejoras. La creación de una metodología de identificación de las causas de problemas es la base para comenzar la estandarización de los procesos. El análisis de las causas de no cumplimiento de la planificación apunta a conseguir el mejoramiento de los procesos.

#### 4.12 Referenciar permanentemente los procesos (*Benchmarking*)

A diferencia de la tecnología para conversiones, el mejor proceso de flujo no está referenciado; tenemos que encontrarlo en algún proceso de clase mundial. A menudo el *Benchmarking* es un estímulo útil para alcanzar la brecha de mejoramiento. Esto ayuda a vencer viejas rutinas inculcadas y las malas prácticas. Mediante ello, defectos fundamentales lógicos en los procesos pueden ser desenterrados.

Los pasos básicos del *Benchmarking* son los siguientes:

- Saber del proceso; evaluación de las fuerzas y las debilidades de los subprocesos.
- Saber acerca de los líderes de la industria o competidores; encontrar, entender y comparar las prácticas de los mejores.
- Incorporar a las prácticas convencionales lo mejor; copiar, modificar o incorporar en sus propios procesos.
- Ganar y adelantarse a través de la combinación de las fuerzas existentes y lo mejor de las prácticas referenciadas.

Una metodología detallada para el *Benchmarking* ha sido presentada extensamente por Robert Camp (1989).

## V MEDICIÓN DE DATOS

La medición de datos se requiere por dos motivos: para conducir el mejoramiento interno de la organización, y para comparar los datos obtenidos de los indicadores escogidos.

Para las organizaciones directamente implicadas en la construcción el primer motivo es el principal, mientras que para el cliente final el segundo pasa a ser mucho más importante.

Los indicadores más importantes enfocados en los flujos, según la visión de *Lean Construction*, deben ser:

**Pérdidas:** Tales como la cantidad de defectos, adaptaciones, el número de errores de diseño u omisiones, la cantidad de órdenes de cambio, gastos en seguridad, el exceso de materiales y el porcentaje de tiempo que no agrega valor al ciclo total.

**Valor:** El valor se define como el grado de satisfacción del cliente final, o sea que todos sus requerimientos sean cumplidos sin inconvenientes. El valor debe ser medido por un proceso de medición post venta o post construcción.

**Tiempo de Ciclos:** Los tiempos del ciclo principal y de sus subprocesos son uno de los indicadores más poderosos.

**Variabilidad:** La producción en la construcción variará con alguna desviación estándar, por ejemplo, debido a la variación en tamaño y peso de los componentes instalados, facilidad de instalación, tolerancias de fabricación y elevación, etc. Esta desviación de lo planificado representa lo que se ha pasado a denominar "variabilidad". Ausencia de variabilidad significa producción confiable.

En la filosofía de *Lean Construction*, como marco conceptual, clasificaremos los indicadores de desempeño en tres categorías: Por resultados, por procesos y por variables. Estos indicadores deben cumplir los siguientes requisitos:

**Especificidad:** Deben estar relacionados con aspectos, etapas y resultados claves del proyecto o del proceso.

**Simplicidad:** Deben ser de fácil aplicación, comprensión y medición.

**Bajo Costo:** El costo de la medición debe ser significativamente menor que el potencial ahorro.

**Representatividad:** Debe dar información veraz y confiable del proceso evaluado.

Los índices de desempeños de mayor importancia, por categoría son:

**Por Resultados**

RESULTADOS	PARAMETROS	UNIDADES
Costo	Desviación del Costo	Costo Real / Costo Presupuestado
Plazo	Desviación del Plazo	Plazo Real / Plazo Presupuestado
Mano de Obra	Eficiencia de la M.O	HH Real / HH Presupuestada
		Costo Real / Costo Presupuestado
Alcance de Obra	Cambio en alcance del Proyecto	Costo de ordenes de Cambio/ Costo Presupuestado
Calidad	No Conformidad	Nº de no cumplimientos
		Costo del No cumplimiento / Costo total de la Obra
	Cuadrillas de Remate	Costo de M.O de cuadrilla / Costo M.O Total

**Por Procesos**

PROCESOS	PARAMETROS	UNIDADES	
Construcción	Productividad Rendimiento	Real vs. Presupuestada	
		HH / ton	\$ / ton
		HH / m3	\$ / m3
		HH / ml	\$ / ml
		Etc.	Etc.
	Trabajo Rehecho	HH trabajo Rehecho / HH totales	
Pérdida de Materia	% de pérdidas de materiales con respecto al Total Completado		
Equipos	HM Reales / HM Presupuestadas		
Abastecimiento	Atrasos	Nº de pedidos atrasados / Nº total de pedidos	
		Nº de actividades en espera / Nº de actividades en el periodo	
	Conformidad con especificaciones	Nº de pedidos con errores / Nº total de pedidos	
Planificación	Efectividad de la	% de actividades Completadas = Nº de actividades totalmente Completadas / Nº de actividades planificadas	
	Planificación		
Gestión	Avance	HH vendidas / HH presupuestadas	
Diseño/Ingeniería	Cambios de Diseño	Nº de cambios / Total de Planos	
	Errores/Omisiones	Nº de errores / Total de Planos	

**Por Variables**

VARIABLES	PARAMETROS	UNIDADES
Seguridad	Índice de Accidentabilidad	$\frac{(\text{N}^\circ \text{de accidentes}) \times 100}{\text{N}^\circ \text{total de trabajadores}}$
	Tasa de Riesgo	$\frac{(\text{N}^\circ \text{Días perdidos}) \times 100}{\text{Promedio anual de trabajadores}}$

Existen varios problemas que se presentan en el desarrollo de las mediciones en la construcción:

- El carácter de único de cada proyecto, mientras más complejo es un proyecto más difícil es comparar los resultados con los obtenidos en otros proyectos (índices de productividad, rendimientos, etc.).
- La dificultad de tomar datos en terreno.
- La variación en las definiciones y los procedimientos de la toma de datos.
- La poca capacitación del personal de supervisión en terreno y de los obreros.

## VI PERDIDAS

### 6.1 Identificación de las pérdidas para mejoramiento en proyectos de construcción

La medición del desempeño actual del sistema de producción, se convierte en punto de partida en la implementación de cualquier sistema de mejoramiento. La identificación de pérdidas, a través de sencillas técnicas, como muestreo de trabajo, encuestas de demoras y cartas de balance de cuadrillas, han sido utilizadas como medida indirecta de la productividad, ya que se asume que al identificar las categorías y causas de las pérdidas en la construcción y reducirlas, se incrementa la productividad<sup>11</sup>.



**Esquema 1: Pérdidas de productividad**

La herramienta de muestreo de trabajo, consiste en numerosas observaciones cortas de la labor de los operarios en su sitio de trabajo y categoriza en tres grupos principales el trabajo realizado por los obreros. Se requiere un mínimo de 384 observaciones para ser consideradas estadísticamente válidas con un margen de error del 5% y una confiabilidad del 95%. Dichas categorías son las siguientes:

**Trabajo productivo (TP)**, definido como el tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna unidad de construcción. Ejemplo de trabajo productivo es la colocación de la armadura de refuerzo y el vaciado del concreto en algún elemento estructural, la pega de ladrillos en muros, etc.

**Trabajo contributivo (TC)**, es el tiempo que emplea el trabajador realizando labores de apoyo necesarias para que se ejecuten las actividades productivas.

Dentro de las tareas contributivas se encuentran: revisión y visto bueno de documentos, generación de documentos tales como la oferta mercantil, los vales etc., asiento de información en papel, resumen de la información, tareas que cuando se realizan por

<sup>11</sup> Alarcón 1993



primera vez son necesarias. El envío de documentos es necesario cuando no se dispone de una red interna o no se tiene acceso a ella desde las obras de construcción.

La filosofía Lean propende por la disminución al máximo del impacto de las tareas contributivas y la eliminación de las no contributivas. Cuando el sistema integral que desarrolla *Gescón* esté implementado, se mantendrán vigentes las rondas y la generación de documentos para efectos legales. En cuanto a los visados, necesariamente se cambiará la forma de realizarse y será más eficiente pues el sistema podrá ayudar en el control. El envío de documentos, los asientos en papel de la información, las redigitación de datos, los resúmenes y consolidaciones realizados entre varios funcionarios, la impresión de la información podrán desaparecer. Estas categorías suman en el presente el 34,9% de las tareas contributivas.

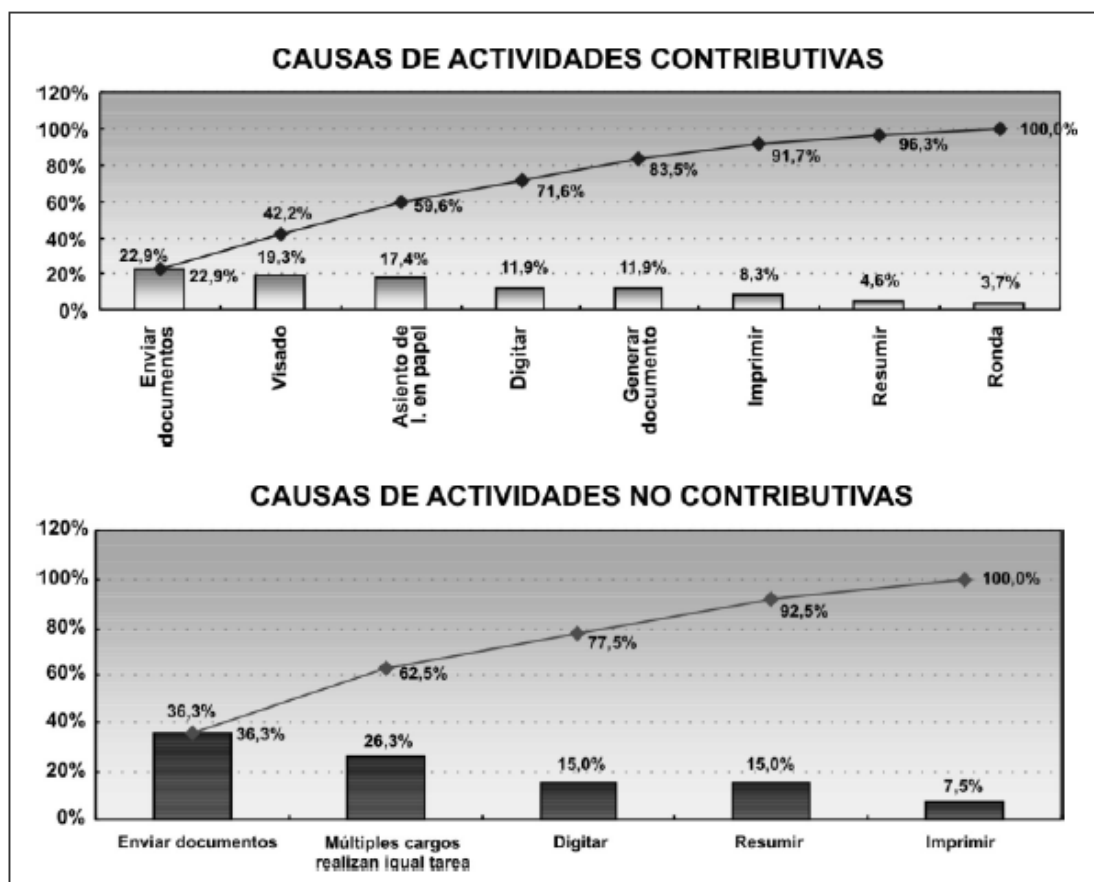
**Trabajo no contributivo (TNC)**, se define como cualquier otra actividad realizada por los obreros y que no se clasifica en las anteriores categorías, por lo tanto se consideran pérdidas. Ejemplos de esta categoría son los tiempos dedicados a esperas, tiempo ocioso, reprocesos, descansos, etc.

Como principio de mejoramiento del desempeño de proyectos de construcción y una vez categorizado el tiempo empleado e identificadas las causas de ocurrencia de pérdidas, se propone buscar la eficiencia del trabajo productivo, minimizando el tiempo destinado al trabajo contributivo y eliminando el tiempo no contributivo (pérdidas). Esta técnica presenta múltiples ventajas por su sencillez, tiene validación estadística, permite medir la variabilidad de las diferentes actividades durante la obra y permite detectar oportunidades de mejoramiento en los proyectos de construcción, situación no evidente utilizando los sistemas tradicionales de control de la producción.

La Tabla 1 y grafica 1 resumen las causas de las actividades contributivas y no contributivas. Aunque hay categorías con igual nombre en los dos tipos de actividades, es primordial aclarar que ellas se encuentran en las actividades contributivas porque hasta el momento es necesario hacerlo así para el cumplimiento de las tareas, pero en las no contributivas su presencia se debe a tareas repetidas o francamente innecesarias.

Contributivas		No contributivas	
Causas	Porcentaje	Causas	Porcentaje
Enviar documentos	22,9	Enviar documentos	36,3
Visado	19,3	Múltiples cargos realizan igual tarea	26,3
Asiento de información en papel	17,4	Digitar	15,0
Digitar	11,9	Resumir	15,0
Generar documento	11,9	Imprimir	7,5
Imprimir	8,3		
Resumir	4,6		
Ronda	3,7		

**Tabla 1: Causas de las actividades no productivas**



**Gráfica 1: Causa de actividades contributivas y no contributivas**

## 6.2 Estimación de los tiempos dedicados a tareas productivas, contributivas y no contributivas en el control de avance de obra

En la Tabla 1.2 llamada “Porcentaje de tareas y estimación del tiempo promedio invertido” se entregan los resúmenes del porcentaje de tareas productivas (P), contributivas (C) y no contributivas (NC) y la estimación del tiempo promedio dedicado a ellas, a partir de la información de tiempos suministrada por los profesionales de cada proyecto constructivo.

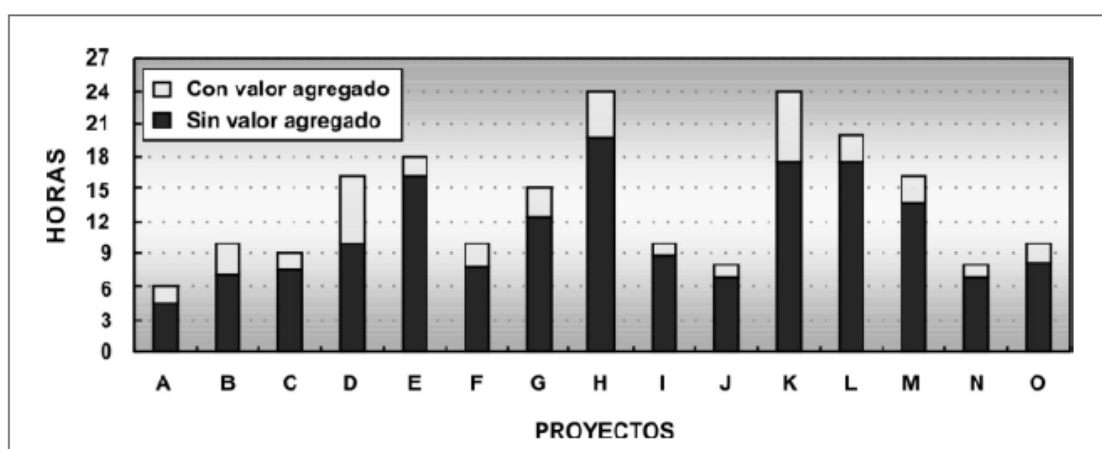
Se puede establecer que el mayor tiempo no contributivo es 11,5 horas y que este valor es mayor que el total de horas dedicadas al control de avance de seis empresas (todos los valores son estimados en promedio). Para una mejor visualización de los resultados, se agruparon las categorías Contributivo y No Contributivo en la gráfica 1.2, en la cual la categoría con valor agregado corresponde al tiempo productivo.

En ella se observó que el proyecto D tiene la clasificación de actividades más deseable. Pero cuando a las tareas se asocia la variable tiempo, se encuentran resultados muy diferentes. La tabla porcentaje de tareas y estimación del tiempo promedio invertido ilustra cómo los proyectos A, B, C, F, G, I, J, N y O son mejores que el proyecto D porque sus tiempos totales están por debajo de las 16 horas que gasta, aunque su distribución de tiempos de actividades con valor y sin valor agregado sigue siendo la

mejor, 32,5 y 67,5 respectivamente. El proyecto A definitivamente es el que gasta menos tiempo en hacer sus tareas aunque sólo el 25% de ellas son productivas.

Proyectos	Porcentaje de tareas			Promedio de Horas			Horas totales
	P	C	NC	P	C	NC	
A	25,0	31,3	43,8	1,5	1,9	2,6	6
B	27,8	50,0	22,2	2,8	5,0	2,2	10
C	16,7	50,0	33,3	1,5	4,5	3,0	9
D	37,5	62,5	0	6,0	10,0	0,0	16
E	11,1	50,0	38,9	2,0	9,0	7,0	18
F	23,1	30,8	46,2	2,3	3,1	4,6	10
G	17,6	41,2	41,2	2,6	6,2	6,2	15
H	17,4	34,8	47,8	4,2	8,3	11,5	24
I	10,5	36,8	52,6	1,1	3,7	5,3	10
J	15,4	76,9	7,7	1,2	6,2	0,6	8
K	26,7	53,3	20,0	6,4	12,8	4,8	24
L	12,5	50,0	37,5	2,5	10,0	7,5	20
M	14,3	78,6	7,1	2,3	12,6	1,1	16
N	14,3	78,6	7,1	1,1	6,3	0,6	8
O	18,8	62,5	18,8	1,9	6,3	1,9	10

**Tabla 1.2: Porcentaje de tareas y estimación del tiempo promedio invertido**

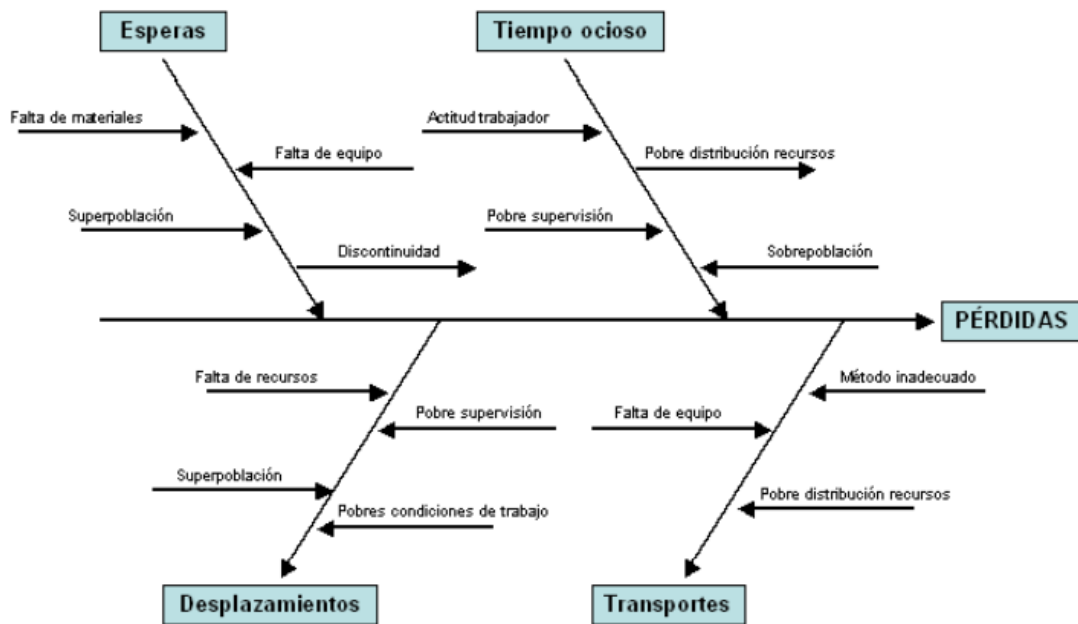


**Gráfica 1.2: Comparativo de los tiempos promedios de actividades con y sin valor agregado**

Se advierte, además, que los tiempos de actividades que no agregan valoren los proyectos E, G, H, K, L y M superan el tiempo total (horas promedio) de los demás proyectos. Como se dijo anteriormente, en estos proyectos existe duplicidad de tareas o controles inadecuados o innecesarios.

Cuando se implemente el sistema con tecnologías móviles, se espera que la categoría "Con valor agregado" disminuya el tiempo promedio (seguramente sin anularse) y que las actividades sin valor agregado desaparezcan completamente. Este objetivo podrá cumplirse en cada empresa cuando aumente la confianza en el sistema de trabajo sin que sea necesario que el o

los interventores tengan que realizar las tareas del residente o de su auxiliar. Igualmente la re-digitación, impresión de documentos y envío de estos desaparecerán.



**Figura 2: Diagrama causa-efecto de las causas en las pérdidas en la construcción**

## VII CADENA DE VALOR

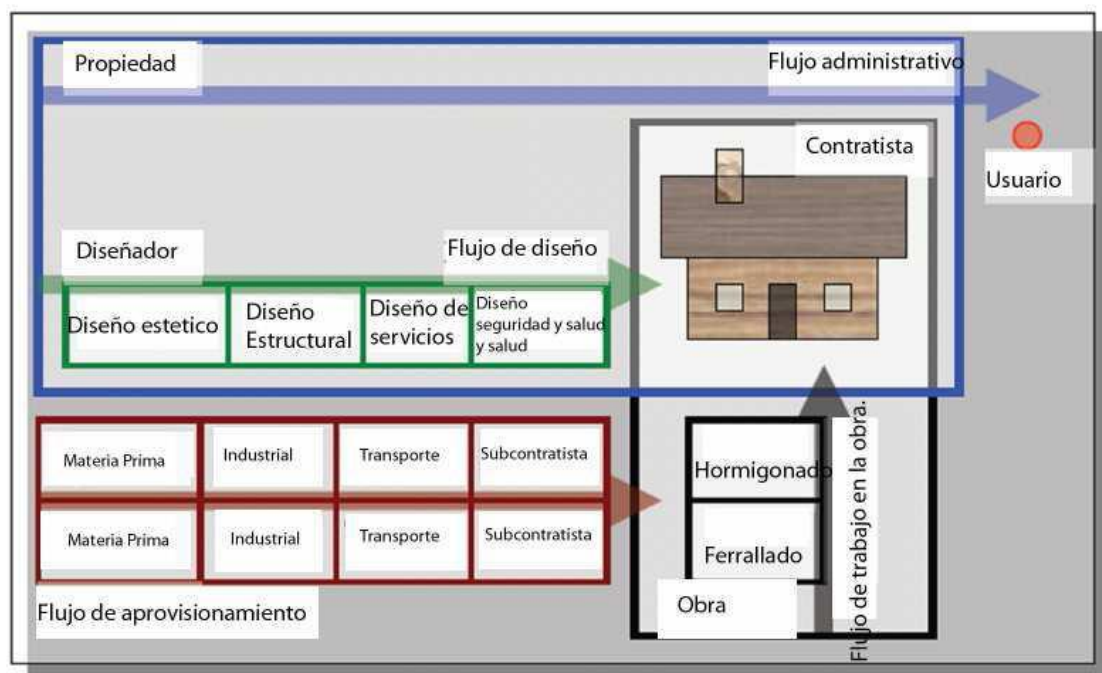
En la construcción no se puede hacer una cadena de valor de todo el proyecto en global, debido en gran parte y como se ha comentado con anterioridad a la gran complejidad de la misma y al gran número de actividades diferentes que se necesita para ejecutar un proyecto.

Según un estudio de Picchi, si se quiere utilizar el concepto de la cadena de valor de forma eficiente en la construcción hemos de dividir todo el proceso en 4 grupos diferentes:

- Grupo Administrativo,
- Grupo del diseño,
- Grupo de trabajo en la obra,
- Grupo de aprovisionamiento.

El flujo en el grupo administrativo se asocia al flujo de cash o liquidez, el concepto de flujo en el diseño se asocia al concepto de diseños claros y que se puedan construir, el grupo de trabajo en la obra se asocia al flujo de actividades ejecutadas y el flujo del grupo de aprovisionamiento se asocia al flujo de la transformación de las materias primas hasta que llegan al cliente.

La figura 3 muestra como se relacionan entre ellos los diferentes flujos en un proyecto.



**Figura 3: Relación entre los diferentes flujos**

Como conclusión Picchi escribió en su estudio que el tipo de material es el factor más influyente en los diferentes flujos de la construcción. Para llegar a esta conclusión el autor se basa en que los diferentes materiales utilizan diferentes tecnologías y por eso necesitan diferentes procesos, diferentes procedimientos de construcción diferentes proveedores y subcontratistas.

## 7.1 Mapeo de la cadena de valor

El mapeo de la cadena de valor, es un proceso simple, que consiste en observar de forma directa los flujos de información y de materiales cuando estos ocurren, resumirlos e intentar visionar un estado futuro mejor y aplicarlo para mejorar la productividad del proceso constructivo.

La mayor finalidad del mapeo de la cadena de valor es poder implementar la filosofía Lean en aquel proceso del cual se esté haciendo la cadena de valor. El mapeo de la cadena de valor es una herramienta para usar la filosofía *Lean* pero no una receta, es como tener un lápiz para escribir, teniendo el lápiz se puede escribir pero éste no dirá ni qué escribir ni cómo escribir.

El primer paso para hacer el mapeo de una cadena de valor eficiente, es definir el producto o la familia de productos que se quieren mejorar. El segundo paso es dibujar, con la ayuda de unos iconos estandarizados, un mapa que defina como se están haciendo las cosas en la actualidad. El tercer paso es dibujar el mapa de cómo debería ser el proceso una vez que se hayan eliminado todas las ineficiencias. Este mapa es el que se deberá tomar como base para poder producir los cambios requeridos en el sistema.

### 1) Elección del producto o de la familia que se quiere mejorar:

Para empezar con el mapeo de la cadena de valor se ha de escoger un producto o una familia específica que se quiera mejorar. Para poder escogarlo se ha de conocer las diferentes unidades de obra que forman nuestro proyecto, para ello se tiene que estudiar qué pasará con las materias primas desde que entran en la obra hasta que se convierten en los diferentes productos finales que juntos formaran el producto final.

La familia de productos normalmente se compone por un grupo de productos variados que han pasado por actividades similares y que han usado maquinaria similar.

### 2) Mapear el estado actual

#### a) Mapeo del flujo físico

Una vez que se tiene claro cuál es el producto o la familia que se quiere mejorar, se puede dibujar el mapa del estado actual. El primer paso para poder dibujar el mapa del estado actual es darse un paseo ya sea de forma real o de forma imaginaria por todo el recorrido que sufre las materias primas hasta que se convierten en el producto final a mejorar, en el paseo hemos de documentar:

- Las acciones que se realizan para producir el producto.
- Las instalaciones donde se produce el proceso constructivo del producto.
- Las condiciones de transporte de los diferentes materiales.
- Todas las acciones administrativas relacionadas con el producto.
- Tiempo requerido para producir el producto final.

Un cálculo sencillo y que resulta bastante significativo es comparar el tiempo total que se necesita para producir el producto y compararlo con la suma del tiempo actual de las actividades que generan valor, para poder saber si las actividades generan valor o no, se ha de pensar como el cliente y preguntarse a uno mismo si el cliente debería pagar menos dinero por el producto o ser menos feliz con el producto si una actividad y el tiempo correspondiente a esta actividad no existiera.

El siguiente paso para poder mapear el estado actual es incluir el transporte de las diferentes materias primas, ya sea de las materias primas que llegan desde fuera de la obra o de las que se mueven entre los distintos acopios dentro de la propia obra, los transportes pueden ser barco, tren, camino, avión...La frecuencia de los diferentes modos de transporte ha de ser incluida. También se incluirá información adicional: La distancia en kilómetros, la cantidad de materia transportada en los diferentes medios de transporte y el porcentaje de entregas defectuosas según los requerimientos del cliente.

Finalmente se dibujará debajo del mapa dos líneas, una que indique el tiempo que necesita cada actividad para realizarse, y otra que dibujará la parte del tiempo que genera valor en el producto final. Estas líneas empezarán en el 0 y serán líneas de tiempo absoluto o sea que irán aumentando conforme vayan pasando por debajo de los diferentes iconos (transporte, actividades...) que vaya acumulando tiempo.

#### b) Mapeo del flujo de información.

Después de mapear el flujo físico del producto, se necesita mapear el flujo de información, el flujo de información que se dibujará en el mapa es la frecuencia de las ordenes (diarias, semanales, mensuales...) y también como la información se transmite entre los diferentes agentes. (Teléfono, e-mail, fax).

### 3) Análisis del Mapa del estado actual

El mapa del estado actual será de mucha ayuda porque enseña cual es el proceso real de la producción. Su análisis permitirá identificar los diferentes despilfarros, y sugerirá cambios en las acciones para mejorar el flujo actual o para crear un nuevo flujo mejor que el actual.

Este nuevo flujo producirá lo mismo en menos tiempo, con una calidad mayor y con menor coste.

### 4) Mapeo del estado futuro.

El mapeo del estado futuro es el último paso en el Mapeo de la cadena de Valor, este mapa es el resultado del análisis del mapa del estado actual, mejorado con las proposiciones cogidas del análisis. Este mapa se dibuja como el estado ideal, que en teoría es la mejor manera en la que podemos transformar nuestro proceso de construcción actual.

La meta es mostrar a la compañía donde se tienen desperdicios en el proceso de construcción y de qué forma éstos pueden ser atacados y en la mayoría de los casos eliminados.

Hay que tener en cuenta que no se puede pasar del estado actual al estado ideal en un día ya que las mejoras no se pueden implementar todas a la vez, sino que se ha de ir mejorando el proceso constructivo poco a poco empezando por las áreas que más difieren de los dos mapas e intentando que los dos mapas se vayan asemejando cada vez más de forma continúa.



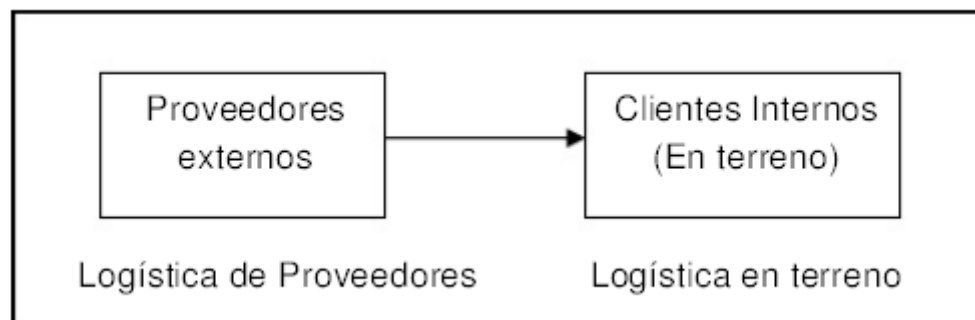
## VIII LOGÍSTICA

En un proceso de producción, la ventaja competitiva no puede venir solamente de mejorar la eficacia de las actividades de conversión, sino también reducir los tiempos de espera, del almacenaje, de movimientos improductivos e inspecciones. Todas estas actividades son inherentes a un proceso logístico.

En términos de la construcción, la logística se puede entender como un proceso multidisciplinario que intenta garantizar en el tiempo exacto, el costo y la calidad del proceso:

- Suministro de materiales, su almacenaje, procesamiento y dirección
- Suministro de mano de obra
- Control de los programas de construcción
- Movimiento de la maquinaria de construcción en terreno
- Dirección de los flujos de construcción

Dirección de los flujos de información relacionada con los flujos en el proceso de ejecución. Esto se logra con el mejoramiento en las actividades de planificación, organización y el control antes, durante y después de los trabajos de construcción. Las funciones de la logística en una empresa constructora se pueden dividir en logística de recursos y la logística en terreno del proceso como se muestra en la figura 4.



**Figura 4: Funciones de la logística**

Los objetivos principales de un sistema logístico son maximizar el nivel de información hacia el cliente y reducir al mínimo el costo total de las actividades del proceso. Es decir los objetivos son generar valor al cliente y reducir el costo en el proceso de producción.

El nivel de información hacia el cliente se puede medir en relaciones exteriores entre la empresa constructora y sus clientes finales, en relaciones exteriores entre la empresa y sus proveedores, y en relaciones internas entre la empresa y sus cuadrillas de construcción en terreno. En el primer caso (relación: el cliente-empresa), el nivel de satisfacción de cliente, pueden ser medidos por la capacidad de la empresa de cumplir el período de la ejecución con la calidad y el presupuesto previsto. En el segundo caso (relación: empresa-proveedores) y el tercer caso (relaciones internas), el nivel de compromiso está determinado por la capacidad de la empresa de proporcionar los recursos a las cuadrillas en terreno, en el tiempo y en el lugar preciso. Una discusión pendiente en términos de la logística, está basado en el costo total, ya que algunas acciones que apuntan reducir algún costo individual de una actividad de logística pueden causar a un aumento en otros costos de la actividad. Por lo tanto hay un

conflicto pendiente en los costos de la logística. Por ejemplo, el costo de la carga puede ser reducido al mínimo por la adquisición en cantidades más altas, pero éste causará probablemente un aumento en costos de almacenamiento e inventarios.

## IX FILOSOFÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN GENERAL

En la actualidad, el sector de la construcción considera las actividades como un proceso de transformación, considerando, además, su respectivas nociones asociadas de organización y gestión. Dicho modelo de transformación se puede conceptualizar dentro de los siguientes puntos<sup>12</sup>:

- El proceso de transformación puede ser dividido en subprocesos, los cuales también tienen características de ser procesos de transformación. La descomposición del total de la transformación, en pequeñas áreas más manejables, genera distintos niveles jerárquicos de transformación. Este principio de administración puede ser usado en cualquier nivel para simplificar la administración de la ejecución.
- El costo total del proceso se calcula agregando los costos de los componentes individuales, lo que implica que el costo total incurrido en los procesos puede ser minimizado minimizando el costo de cada subproceso. Claramente aquí no se asume la interdependencia de los subprocesos y se infiere que los subprocesos de un proceso total, son independientes uno del otro.
- Es beneficioso aislar los procesos de producción del ambiente externo, a través de buffers físicos u organizacionales. Si los procesos de transformación no son independientes de su medio, ellos pueden ser independientes por medio de *Buffers*.
- El valor de los *outputs* (salida) de un proceso está asociado con el costo de los *inputs* (entradas) para este proceso. Así, la única forma de concebir valor de los *outputs*, en esta estructura de trabajo, está relacionada con los inputs. De esta manera, la noción de valor agregado (o valor de transformación) queda definida como la diferencia que existe entre el costo de los insumos y los ingresos de ventas de este bien o servicio.

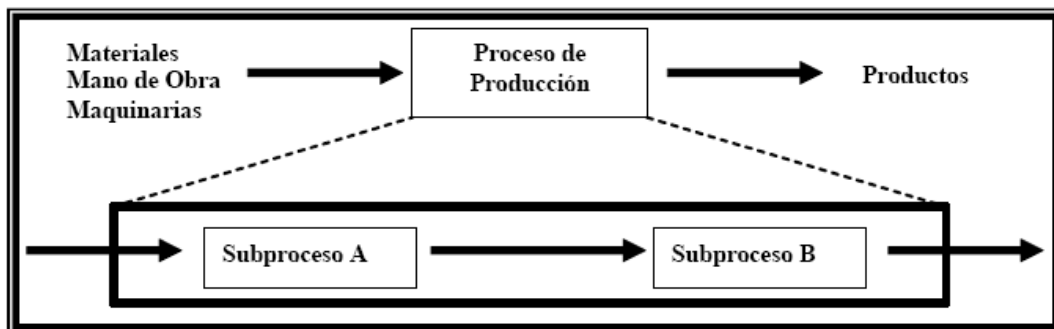


Figura 5: Proceso de Conversión Convencional (Koskela, 2000)

En particular, el modelo convencional y sus principios corresponde a una teoría tolerable, ya que considera un proceso lógico de producción y además es consistente en cuanto a la

<sup>12</sup> Koskela, 1992

práctica de la estimación de los costos asociados, pero este modelo se traduce mayoritariamente en un análisis y administración de operaciones productivas herradas, lo cual conlleva a un aumento en los costos y a un incumplimiento en los plazos proyectados<sup>13</sup>.

Uno de los problemas claves que se presentan en esta conceptualización es la no diferenciación entre las actividades de procesos que agregan valor y aquellas actividades de flujo que no agregan valor al producto final, considerando todas las actividades como agregadoras de valor. Además, al considerar que la minimización de los costos totales de las actividades se puede obtener con la minimización de costos de los subprocesos, ignora los efectos producidos con la interdependencia que existe en las actividades, generando así malas estimaciones.

---

<sup>13</sup> Buzzoni, 2000

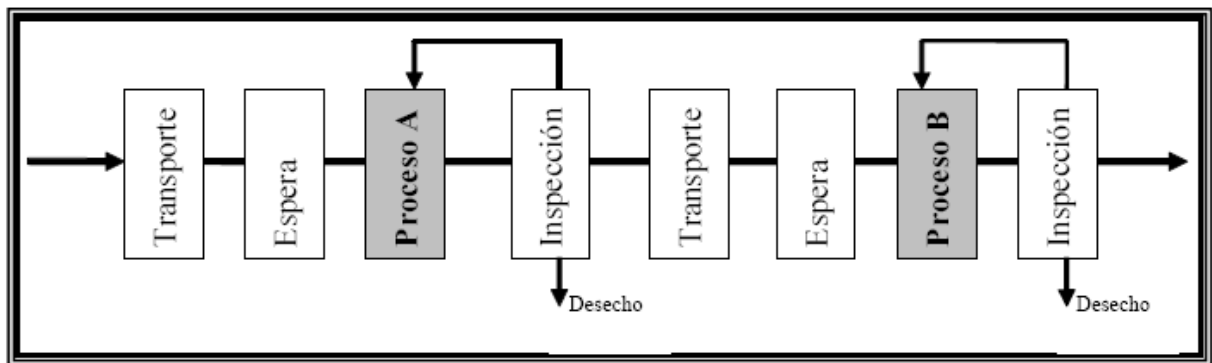
## X LEAN APLICADA A LA CONSTRUCCIÓN

La producción *Lean* es un sistema de producción que elimina los pasos innecesarios, alineando todas las actividades en un flujo continuo, recomblando las tareas de equipos funcionales dedicados a esas actividades y esforzándose continuamente por mejorar. Las compañías pueden desarrollar y distribuir productos con la mitad del esfuerzo, espacio, herramientas, tiempo y costo total<sup>14</sup>. Este nuevo modelo conceptual de producción corresponde a una síntesis y generalización de diferentes modelos surgidos en varios campos, dentro de los cuales destacan *Just in Time* y *Total Quality Management*<sup>15</sup>.

El nuevo concepto de producción puede ser definido de la siguiente forma<sup>16</sup>.

La producción es un flujo de materiales y/o información desde las materias primas hasta el producto final. En este flujo, el material es procesado (transformado), inspeccionado, permanece en espera o en movimiento. Estas actividades son inherentemente diferentes. El procesamiento representa el aspecto de transformación de la producción, en cambio, la inspección, el movimiento, y la espera representan el aspecto de flujo de la producción.

Los procesos de flujo pueden ser caracterizados por tiempo, costo y valor. El valor de un producto se puede determinar sólo en referencia al cliente y a las metas de producción que satisfacen las necesidades del cliente, oponiéndose al modelo de transformación, donde subprocesos internos de producción se definen antes que el cliente.



**Figura 6: Esquema Conceptual de Producción Lean (Koskela, 2000)**

En la mayoría de los casos, sólo las actividades de procesamiento son transformaciones de tamaño o sustancia, montaje y desmontaje. Ver figura 6.

Así, la nueva conceptualización implica una visión dual de producción, que consiste en transformaciones y flujos. La eficiencia de la producción es atribuible a la eficiencia de las actividades de transformación y a la eficiencia de los flujos de actividades (a los que pertenecen las actividades de transformación). Todas las actividades implican costos y consumen tiempo, pero es importante distinguir aquellas actividades que agregan valor y las que no lo hacen:

<sup>14</sup> Womack, 1990

<sup>15</sup> Koskela, 1992

<sup>16</sup> Koskela, 1992

- Actividades que agregan valor: aquellas actividades que transforman materiales o información hacia lo que es requerido por el cliente. (Actividades de tono más oscuro en la figura 6).
- Actividades que no agregan valor: aquellas actividades que consumen recursos, tiempo y espacio, y que no agregan valor.

	Visión Convencional	Visión de Calidad	Nueva Filosofía de Producción
Costo Total del Proceso	Costo total del proceso	Costo de la No Calidad	Costo de las actividades que no agregan valor  Costo de las actividades que agregan valor
Razón de Mejoramiento de Desempeño	Incrementar la Eficiencia del Proceso.	Reducir el Costo de la No Calidad e incrementar la Eficiencia del Proceso.	Reducir o Eliminar las Actividades que no agregan valor e incrementar la Eficiencia de las Actividades que agregan valor.

**Figura 6.1: Producción *Lean*: Enfoque en la reducción de las actividades que no agregan valor al producto (Koskela, 1992)**

Así, el mejoramiento del flujo de actividades debe ser enfocado en la reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor al producto. En la figura 6.1 se presenta esta visión de la *Construction Lean*, comparándola con otras visiones.

Los conceptos de Transformación, Flujo y Valor de producción, no son alternativas excluyentes o teorías de producción competidoras, sino más bien parciales y complementarias. Cada una de éstas se focaliza en un cierto aspecto del fenómeno de producción: el concepto de transformación en la transformación para generar valor; el concepto de flujo en las actividades que no agregan valor; y el concepto de generación de valor se centra en el control de la producción desde el punto de vista del cliente. La tabla 2 nos muestra la integración de los conceptos.

**Tabla 2: TFV integrados (T: Transformación, F: Flujo, V: Valor) (Koskela, 2000)**

	Perspectiva de Transformación	Perspectiva de flujo	Perspectiva de generación de valor
Conceptualización de la producción	Como transformación de inputs en outputs	Como un flujo de materiales, compuesto de transformaciones, inspecciones, transporte y esperas.	Como un proceso donde el valor para el cliente es generado a partir de la plena satisfacción de sus
Principios Principales	Hacer la producción en forma eficiente	Eliminación de pérdidas (actividades que no agregan valor)	Eliminación de pérdidas de valor
Métodos y Prácticas	WBS, MRP, OBS	Flujo continuo, control de producción pulí, mejoramiento continuo	Métodos de captura de requerimientos, despliegue de la
Contribución Práctica	Cuidar lo que hay que hacer	Cuidar de que lo innecesario es realizado lo menos posible	Cuidar de que lo requiere el cliente es satisfecho de la mejor forma posible
Nombre sugerido para la aplicación práctica de la perspectiva	<i>Task Management</i>	<i>Flow Management</i>	<i>Valué Management</i>

Para lograr las metas de producción, los tres conceptos deben estar en forma balanceada y sus interacciones controladas para evitar anomalías. Evidentemente, un sistema de producción donde los principios de los tres conceptos han sido implementados en todos los niveles de administración tendrá mejores desempeños que uno donde los conceptos han sido implementados en menor forma<sup>17</sup>.

Es más fácil lograr un balance entre las distintas visiones, si se conocen la interacción existente entre éstas. Una muestra de las interacciones se puede ver en la tabla 2.1

	Impacto en T	Impacto en F	Impacto en V
Impacto de T en otro concepto		Tecnología de transformación más cara proveerá una menor variabilidad	Inputs más costosos contribuirán a obtener un mejor resultado
Impacto de F en otro concepto	Flujos con menor variabilidad requieren menor capacidad. Es más fácil introducir tecnologías de transformación si existe menor variabilidad.		Sistemas de producción más flexibles permiten satisfacer más patrones de demanda. Sistemas de producción con menor variabilidad interna, son capaces de producir productos de mejor calidad

<sup>17</sup> Koskela, 2000

Impacto de V en otro concepto	Modelos de demanda más variables permiten beneficios a escala y mayor utilización	Perfeccionamiento de la relación entre el cliente interno y los proveedores contribuye a reducir pérdidas.	
-------------------------------	---	--	--

**Tabla 2.1: Interacciones entre TFV**

Una reunión de los tres conceptos facilita encontrar principios o métodos genéricos, aplicables a cada uno de ellos, además de tener una mejor definición de cada concepto y sus implicancias.

Koskela (1992), explica que los flujos de procesos podrán ser diseñados, controlados y mejorados, con un conjunto de principios heurísticos que han evolucionado en varios subcampos de la nueva filosofía de producción. Estos son:

1. Reducir la porción de las actividades que no agregan valor.
2. Incrementar el valor del producto a través de la consideración sistemática de los requerimientos del cliente.
3. Reducir la variabilidad.
4. Reducir el tiempo de ciclo.
5. Simplificar mediante minimización de pasos, partes y vínculos entre ellos.
6. Incrementar la flexibilidad en los procesos.
7. Incrementar la transparencia en los procesos.
8. Enfocar el control en los procesos completos.
9. Introducir el mejoramiento continuo de los procesos.
10. Mejorar el flujo de balance mediante el mejoramiento de la transformación.
11. Referenciar permanentemente los procesos (*Benchmarking*).

### **10.1 Comparación entre *construcción lean* y construcción convencional**

Como ya se mencionó, la producción convencional se fundamenta en la observación de la producción como una conversión de las entradas hacia las salidas, por ello la producción total puede ser dividida en subprocesos, los cuales también son procesos de transformación. La producción convencional se mejora con la implementación de nueva tecnología, principalmente en las actividades que agregan valor (transformación), y hasta cierto punto también en las actividades que no lo agregan. Sin embargo, el tiempo y costo de las actividades que no agregan valor presentan una tendencia creciente debido a la contribución de varios mecanismos<sup>18</sup>:

<sup>18</sup> Campero y Alarcón, 2002



Mientras se ejerce mayor control sobre el costo de cada actividad, es menor el control del impacto que estas actividades tienen sobre el costo de otras.

- La especialización, inherente en el modelo de las organizaciones jerárquicas, automáticamente lleva a una expansión de actividades que no agregan valor como son el transporte, las esperas e inspecciones.
- La implementación de nueva tecnología generalmente lleva a una situación donde los sistemas de producción son más complejos, propensos a perturbaciones, y se requiere nuevos especialistas para mantener el sistema.

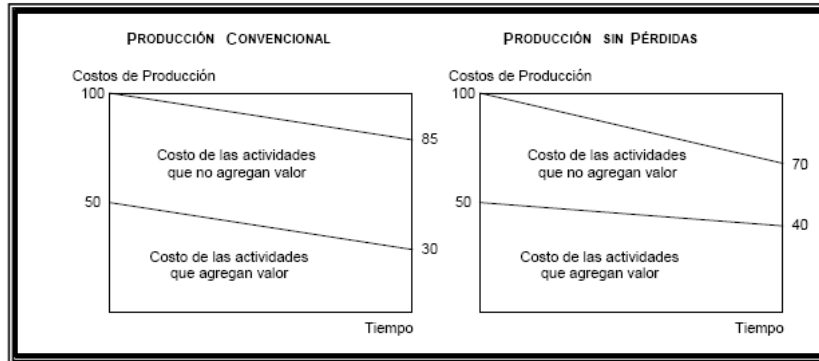
**Tabla 2.2: La filosofía de producción tradicional y la nueva filosofía de producción.**

	<b>PRODUCCIÓN CONVENCIONAL</b>	<b>NUEVA FILOSOFÍA</b>
<b>Objeto</b>	Afecta a productos y servicios	Afecta a todas las actividades de la empresa
<b>Alcance</b>	Actividades de control	Gestión, asesoramiento, control
<b>Modo de aplicación</b>	Impuesta por la dirección	Por convencimiento y participación
<b>Metodología</b>	Detectar y corregir	Prevenir
<b>Responsabilidad</b>	Del departamento de calidad	Compromiso de todos los miembros de la empresa
<b>Clientes</b>	Ajenos a la empresa	Internos y externos
<b>Conceptualización de la producción</b>	La producción consiste de conversiones (actividades). Todas las actividades añaden valor al producto	La producción consiste de conversiones y flujos; hay actividades que agregan valor y actividades que no agregan valor al producto.
<b>Control</b>	Costo de las actividades	Dirigido hacia el costo, tiempo y valor de los flujos.
<b>Mejoramiento</b>	Implementación de nueva tecnología	Reducción de las tareas de flujo, y aumento de la eficiencia del proceso con mejoras continuas y tecnología

Dentro de la producción *Lean*, las actividades que no agregan valor son expresamente identificadas. Es posible iniciar la reducción significativa de los costos de las actividades que no agregan valor, a través de la medición y la aplicación de los principios para el mejoramiento del control de flujo propuestos por Koskela (1992), enunciados anteriormente. Las actividades que agregan valor son mejoradas a través del mejoramiento continuo interno y un mejor uso del equipamiento existente. Sólo después de que este mejoramiento se realiza, se podrían considerar inversiones en nuevas tecnologías.

Se debe considerar que la implementación de nuevas tecnologías es más fácil si existe producción sin pérdidas, ya que requeriría de menor inversión y existiría un mejor control de la producción. Por ello, después de la fase inicial, el incremento de eficiencia debido a tecnología en las actividades que agregan valor, puede ser más rápido en un ambiente de producción Lean que en la producción tradicional. Cabe destacar que la

implementación de tecnología, como agente de cambio, puede ser un motor clave para alcanzar la Producción *Lean*.



**Figura 7: Comparación de actividades que no agregan valor bajo la producción convencional y sin pérdidas.**

## 10.2 Análisis de operaciones de construcción

El objetivo del Análisis de Operaciones es examinar las formas de hacer el trabajo con el fin de desarrollar operaciones o métodos de construcción más simples y efectivos, determinando los *layouts* óptimos, seleccionando los equipos de trabajadores y equipos más adecuados y balanceando cuadrillas de trabajo para su uso más eficiente.

El procedimiento exacto a llevar a cabo en un análisis de operaciones depende del propósito del estudio y de la herramienta o técnica utilizada, pero existen pasos básicos como<sup>19</sup>:

1. Seleccionar la operación, lugar o trabajo que será estudiado.
2. Registrar todos los aspectos relevantes acerca del método actual o propuesto.
3. Examinar esos aspectos crítica y sistemáticamente.
4. Desarrollar el método más práctico, económico y efectivo.
5. Instaurar el método desarrollado.
6. Mantener el nuevo método para una rutina regular de chequeos.

<sup>19</sup> Olomolaiye et al, 1998

### 10.3 Cartas de delineamiento de procesos, cartas de flujo de procesos y diagramas de flujo

Las secuencias de trabajo son registradas comúnmente usando los cinco símbolos estándar de la ASME<sup>20</sup>

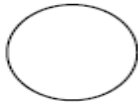




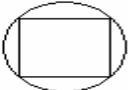
Símbolo	Actividad	Interpretación
	<i>Operación</i>	Un paso definido en un proceso, método o procedimiento. Generalmente se producen cambios, como por ejemplo: se hace una perforación, se vibra el hormigón, se carga una grúa, etc.
	<i>Transporte</i>	Cualquier movimiento de obreros, materiales o equipos. Por ejemplo: acarreo de ladrillos, transporte de hormigón en camiones mixer, etc.
	<i>Almacenamiento</i>	Almacenamiento planificado y autorizado, que es controlado
	<i>Demora o almacenamiento temporal</i>	Una demora no prevista, generalmente temporal, producto de una secuencia poco apropiada, o del que no se logró una coordinación perfecta entre los pasos de la operación. Por ejemplo: materiales en espera de procesamiento, obreros en espera de materiales y/o herramientas, etc.
	<i>Inspección</i>	Control de calidad o verificación de cantidades, medidas, peso, etc.
	<i>Combinado</i>	Cuando dos o más eventos se realizan juntos, los símbolos apropiados son combinados con el evento predominante al exterior.

Figura 7.1: Símbolos usados en cartas de proceso.

Se asumen las siguientes convenciones durante el desarrollo de cartas de procesos<sup>21</sup>:

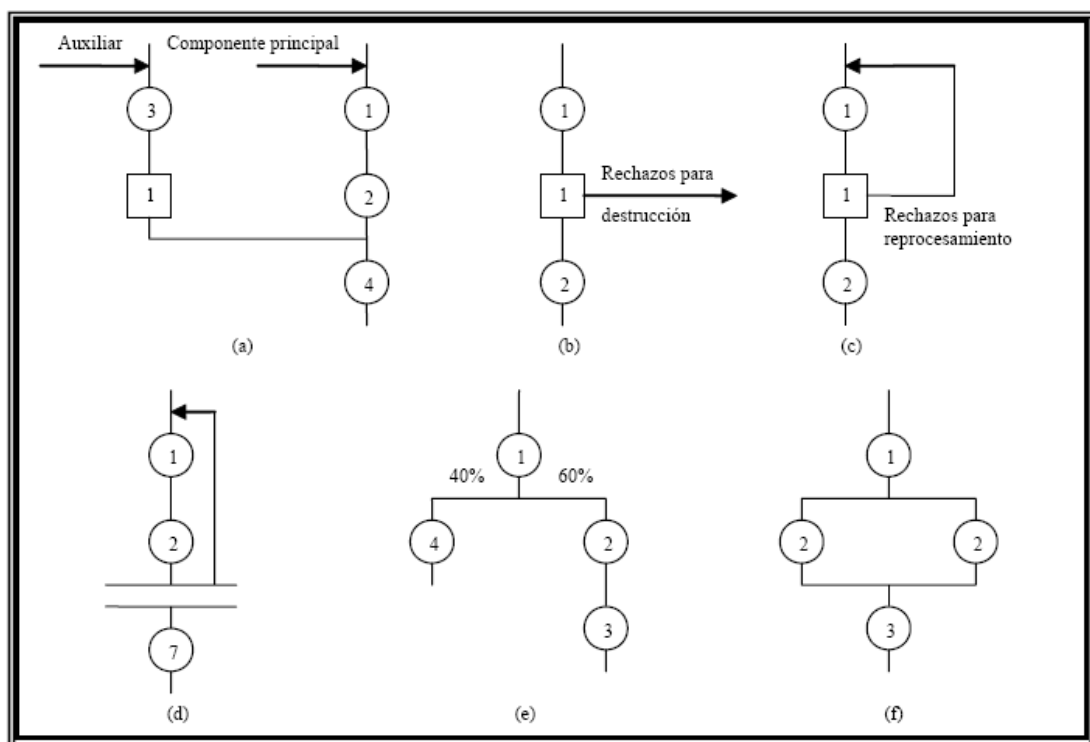
- Símbolos similares son numerados consecutivamente con una pequeña descripción a la derecha y (si se requiere) el tiempo o la distancia a la izquierda.
- Los materiales, componentes y equipos que ingresan al proceso se representan con una flecha entrando desde la izquierda.
- El inicio de la carta se indica por una flecha que muestra la entrada de un material o componente principal
- El proceso principal se dibuja hacia el lado derecho de la carta con los procesos auxiliares a la izquierda, siendo éstos unidos entre si y uniéndose al tronco principal en el lugar donde entran los materiales o componentes.

<sup>20</sup> American Society of Mechanical Engineers

<sup>21</sup> Olomolaiye et al, 1998

- Los rechazos, rechazos para reprocesamiento y los ciclos repetitivos se representan como se ve en la Figura 7.1.
- Materiales separados que reciben diferentes tratamientos deben ser esquematizados como se muestra en la Figura, la rama derecha representa generalmente el mayor flujo.
- Cuando la misma operación se lleva a cabo en más de un lugar o por más de un trabajador para balancear el flujo de trabajo, la carta se divide en dos o más elementos.

Además, se pueden usar notas alrededor de las actividades para indicar cualquier comentario acerca de la operación, distancias, condiciones de trabajo, etc.



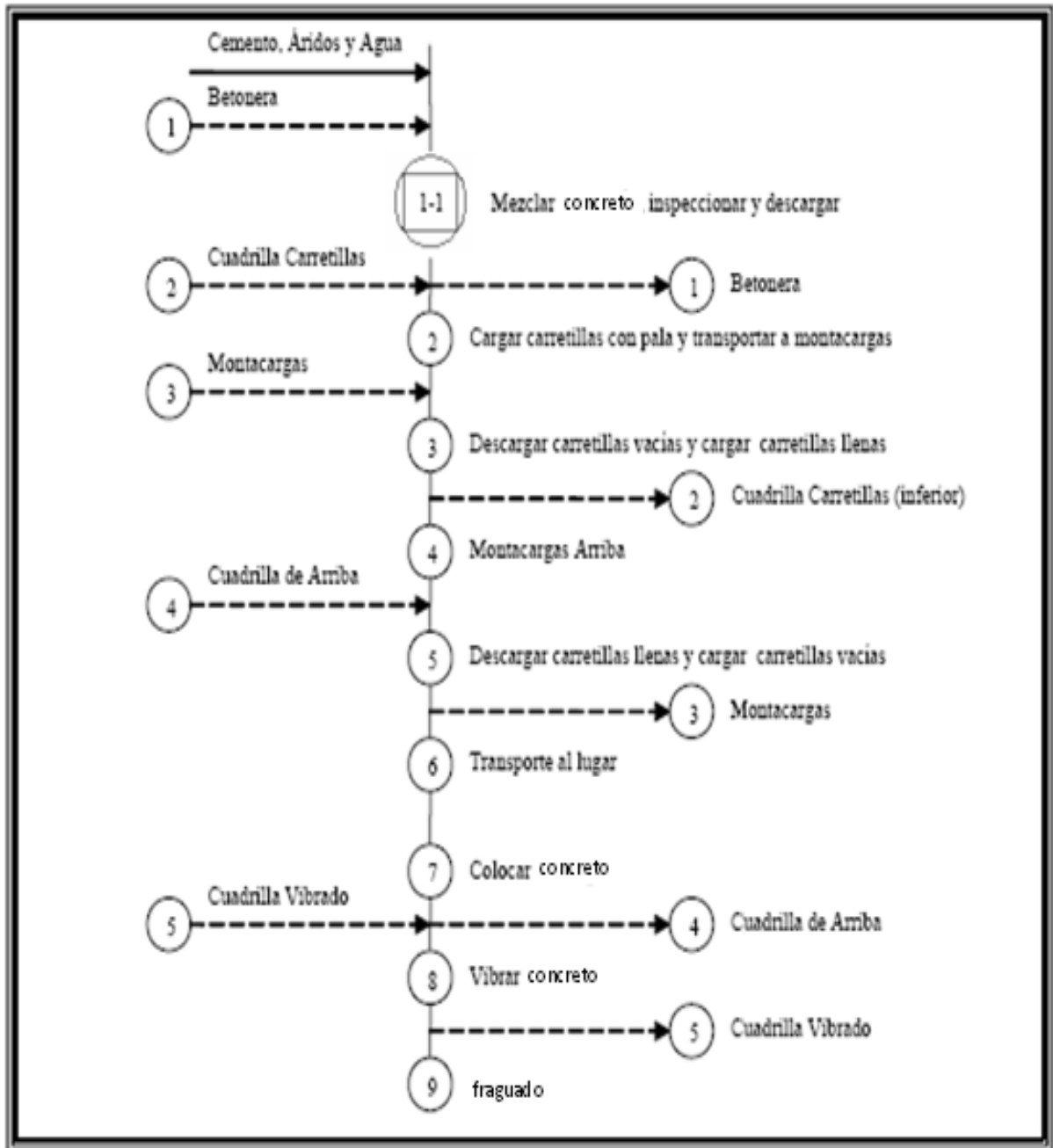
**Figura 7.2: Convenciones para cartas de procesos.**

#### 10.4 Cartas de delineamiento de procesos

La carta de delineamiento de procesos es usada comúnmente para obtener una visión general del total de la operación antes de realizar un estudio detallado. Sólo las operaciones principales e inspecciones son registradas usando los símbolos de operación e inspección, se muestra una carta de delineamiento de procesos simplificada que busca un entendimiento general de una operación concreta. En la Figura 7.3 se muestra una carta de delineamiento de procesos simplificada que busca un entendimiento general de una operación concreta. Cuando se dibuja este tipo de cartas no se necesita información adicional.

Cuando se dibuja este tipo de cartas no se necesita información adicional.

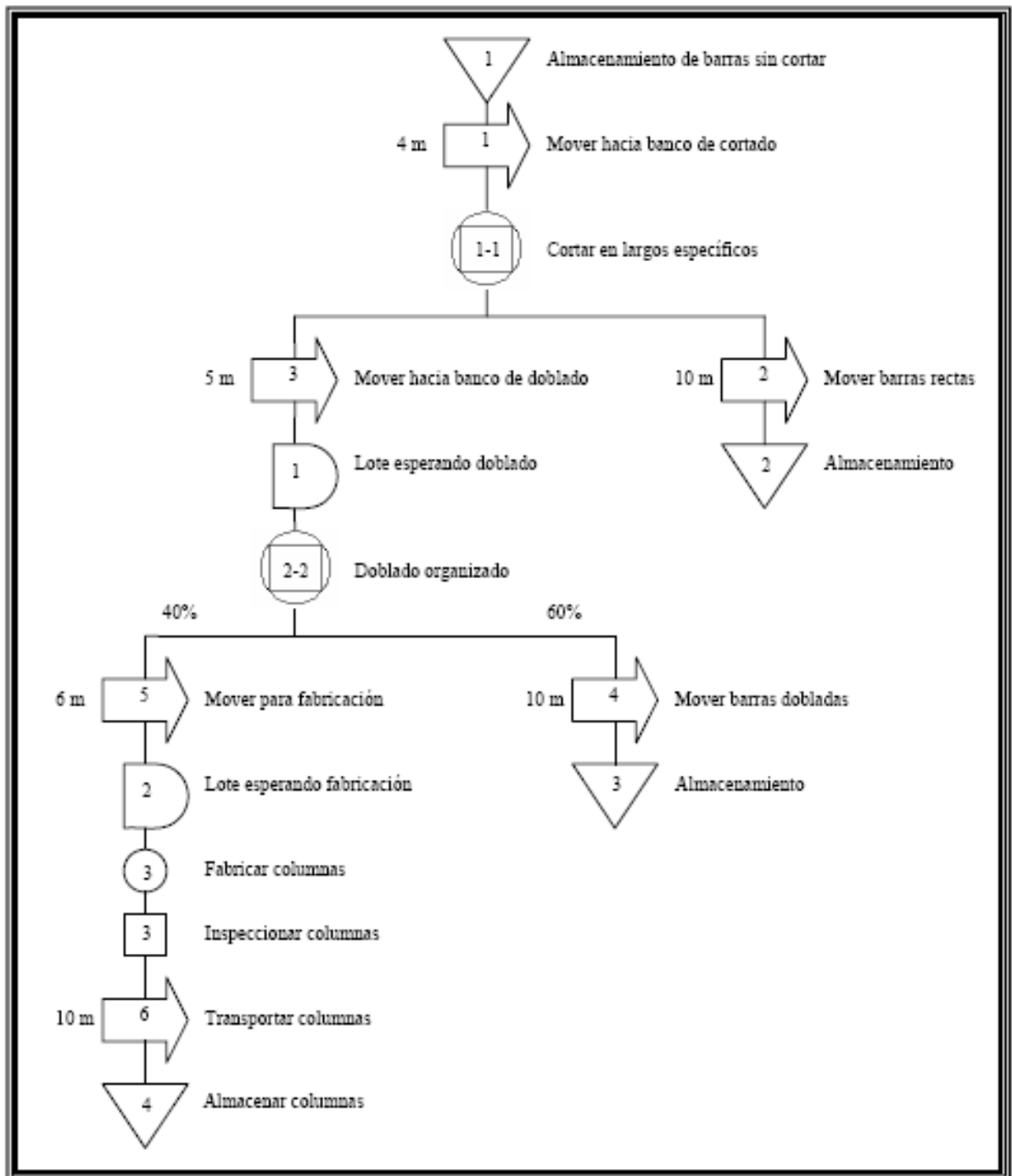
Aunque cada una de las actividades que se muestran podría justificar un estudio separado, la aplicación de algunos métodos podría llevar a eliminar el trabajo innecesario, incluso en este nivel. Sin embargo, para un análisis detallado es necesario registrar todas las actividades e ilustrar el flujo de trabajo en una carta de flujo de procesos u otra técnica apropiada, dependiendo del aspecto que se esté estudiando.



**Figura 7.3: Carta de delineamiento de procesos para una operación de concreto hidráulico**

### 10.5 Carta de flujo de procesos

La carta de flujo de procesos provee un detalle de la secuencia de cada operación, inspección, demora, transporte o almacenamiento que se realiza en un proceso de construcción usando los cinco símbolos presentados anteriormente, combinando el tiempo involucrado y las distancias con la secuencia de actividades. La figura 7.4 muestra una carta de flujo de procesos de materiales.



**Figura 7.4: Carta de flujo de procesos de un taller de fabricación de armaduras de acero**

Estas pueden ser de dos tipos:

- Cartas de proceso de la mano de obra / equipos: Para analizar las actividades de la mano de obra o la forma en que los equipos y/o maquinarias son usados.
- Carta de proceso de materiales: Para analizar los movimientos y el procesamiento de los materiales.

CARTA DE FLUJO DE PROCESOS				Tipo: M.O. / Material / Equipo					
Proyecto:				Actividad	Presente	Pro-puesto	Ahorro		
Operación: Concreto en viga				Operación	5				
Método: Actual / Propuesto				Transporte	5				
Observador:				Demora	4				
Trabajadores:				Inspección	1				
Notas:				Almacenamiento	-				
				Distancia	60				
				Tiempo	12.9				
Descripción	Cant.	Dist (m)	Tiem-po (min)	Símbolo					Obs.
				○	⇒	◩	◻	▽	
Esperando mezcla			0.5						
Esp. inspección			0.2						
Esp. descarga			0.4						
Carga carretilla			2.0	●					
Mover carretilla		15	0.5	●					Usando pala
Esp. montacargas			1.0						
Descarga carret. y carga			0.5	●					
Mover carretilla vacía		15	0.5	●					
Cargar carretilla			2.0	●					
Mover carretilla		15	0.6	●					
Descarga y carga			0.5	●					
Mover carretilla vacía		7	0.2	●					
Inspeccionar carretilla			2.0	●					Mat. pegado
Mover carretilla vacía		8	0.2	●					
Cargar carretilla			1.8	●					
<b>TOTAL</b>									

Figura 7.5: Carta de flujo de procesos de una operación de transporte de hormigón

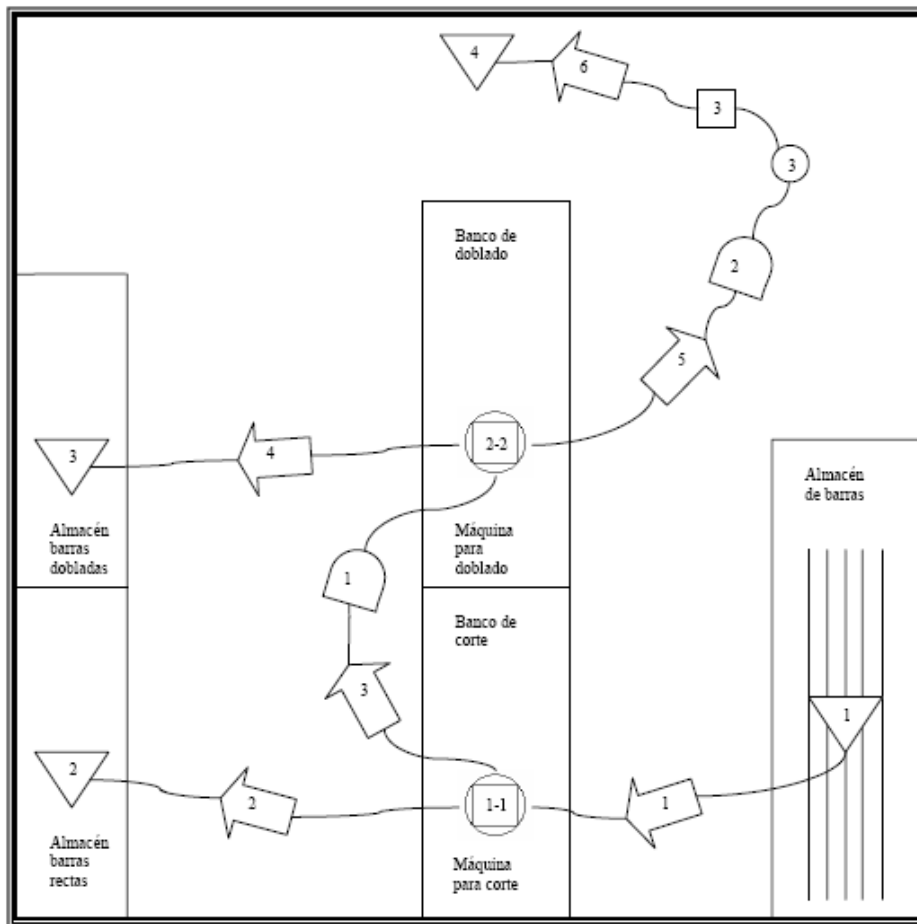
Es importante destacar, a diferencia de las cartas de delineamiento de procesos, que no se deben mezclar diferentes tipos de cartas de flujo procesos. Es decir, si se analiza el movimiento de cierto material, la carta de flujo de proceso no se debe combinar con las actividades de otros recursos, tales como el personal o equipos.

La Figura 7.5 muestra una carta de flujo de procesos para mano de obra registrada para investigar las actividades de una persona transportando concreto desde el origen hasta un montacargas, presentado en un formato estructurado. Como puede verse, la secuencia de actividades, tiempos tomados para cada operación y distancias involucradas ingresadas conjuntamente con información de apoyo como dificultades, herramientas usadas, etc. para ayudar al analista a entender las ineficiencias. Sin embargo, es una representación menos clara del proceso en comparación con el método anterior. Para solucionar este problema las cartas de flujo de procesos son usadas en

conjunto con un diagrama de flujo y son adecuadas en situaciones donde se requiere, además de la secuencia, información del proceso y su *layout*.

### 10.6 Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo es un modelo a escala, preparado en un plano de dos dimensiones, que muestra la ubicación de las actividades, materiales y movimiento de trabajadores y equipos alrededor del lugar de trabajo. En el diagrama se representan varios movimientos y actividades de trabajadores y máquinas, usando los símbolos antes mostrados.



**Figura 7.6: Diagrama de flujo de un taller de fabricación de armaduras de acero**

Esta técnica de registro puede usarse para examinar el manejo y procesamiento de materiales o para investigar las actividades de trabajadores o equipos. Por ejemplo, en la figura 7.6 se muestra un diagrama de flujo del proceso de fabricación de armadura de acero que se mencionó anteriormente. En este diagrama pueden ser claramente observados el *layout* y el proceso de fabricación de las armaduras de acero, incluyendo las distancias involucradas, los puntos de detención y las interferencias. Esta información es invaluable para el analista para mejorar los *layout* existentes o generar *layout* eficientes para otras operaciones.



## 10.7 Medición del trabajo

Medición del trabajo es la aplicación de técnicas que permiten establecer el tiempo necesario para realizar una operación a un nivel estándar de desempeño. Para este fin se utilizan técnicas como estudios tiempo-movimiento y técnicas filmicas (fotografías, videos y películas).

La medición del trabajo tiene por objetivo investigar, reducir y finalmente eliminar el tiempo improductivo. Además cumple la función de determinar los tiempos tipo o estándar de ejecución de una operación de construcción dada. Estos tiempos sirven posteriormente como una base de control o comparación.

## 10.8 Estudios de tiempo - movimiento

Esta técnica es una de las más utilizadas para realizar mediciones del trabajo, principalmente por su bajo costo (uso de cronómetro, lápiz y papel). El proceso de medición del trabajo con esta técnica contempla los siguientes pasos:

- Descomposición de la operación a medir, en elementos: Un elemento es una parte delimitada de la operación, que se selecciona para facilitar la observación, la medición y el análisis de la misma. Es importante que los elementos sean de fácil identificación, y su comienzo y fin claramente definidos, de modo que el observador pueda identificarlos continuamente.
- Toma de tiempos: Una vez delimitados y descritos los elementos, se puede empezar a cronometrar. Cuando los elementos son consecutivos o secuenciales, el modo más recomendable de hacerlo es usando el procedimiento de cronometraje acumulativo, en que sólo se registra el momento en que termina cada elemento, y posteriormente se obtiene el tiempo de cada elemento por la diferencia entre los tiempo de término de actividades consecutivas. En el caso de que las actividades no sean consecutivas la medición del tiempo deberá realizarse registrando la hora de inicio y término de cada actividad, para luego calcular sus duraciones.
- El número de veces que se mide un elemento dependerá de la precisión que se requiera para el resultado, el cual puede validarse estableciendo un nivel de confianza deseado y utilizando los conceptos de estimación estadística.
- Técnicas filmicas: Las principales técnicas filmicas son las fotografías a intervalos de tiempo, y los videos y películas en general. La primera técnica mencionada consiste en sacar fotografías a intervalos que van de 1 a 16 segundos (4 segundos es lo más utilizado). Al proyectar la película se puede analizar una operación y es posible calcular tiempos, ya que el intervalo entre fotografías es conocido. Las películas y videos son los sistemas de registro más completos y fidedignos de una operación. La principal desventaja de estos sistemas es el gran

costo en equipos y películas. La mayor ventaja radica en poder contar con testimonios gráficos para análisis inmediatos y posteriores de las operaciones, como también su uso con fines de instrucción.

### 10.9 Cartas de balance y cartas multicuadrilla

#### Cartas de Balance

En la construcción, la productividad de las operaciones en general es afectada por demoras internas o por demoras del sistema, como un miembro del grupo (un trabajador o una máquina) esperando que otro miembro termine su parte del trabajo. La carta de flujo de procesos de mano de obra descrita anteriormente puede mostrar algunas de estas interferencias, pero no logra dar una clara representación de los retrasos y tiempos de espera creados por interdependencias de miembros del grupo. En relación a esto, la Carta de Balance, que es a la vez una herramienta analítica y de registro para el mejoramiento de métodos, puede usarse para identificar el efecto de estas interdependencias, para cuantificar los tiempos de espera resultantes y para evaluar varias alternativas. Es extremadamente útil para organizar o balancear grupos de operarios y equipos en trabajos de producción en masa.

El principio básico para generar una Carta de Balance es registrar las actividades de todos los miembros del grupo (trabajadores y equipos) en forma de barras en una escala común de tiempo para mostrar sus interrelaciones, siendo el principal objetivo obtener una utilización balanceada de recursos.

CARTA DE BALANCE					
Operación: <i>Colocación de cerca de alambre de pías</i>					
Fecha:					
Analista:					
Escala de tiempo (hrs.)	Cuadrilla	Trabajador N° 1	Trabajador N° 2	Trabajador N° 3	
	0		Cava hoyo de poste 1	Mezcla concreto para 8 postes	Mezcla concreto para 8 postes
			aplana concreto Poste 1	aplana concreto Poste 1	
1			Cava hoyo de poste 2		
			Cava hoyo de poste 3	aplana concreto Poste 2	aplana concreto Poste 2
2		Cava hoyo de poste 4	aplana concreto Poste 3	aplana concreto Poste 3	
		aplana concreto Poste 4	aplana concreto Poste 4		
				Cava hoyo de poste 5	

Figura 7.7: Carta de Balance de una operación de cercado

En la Figura 7.7, se muestra una Carta de Balance simple, generada para investigar la eficiencia de una cuadrilla de trabajadores poniendo una cerca de alambre de púas alrededor de un gran sitio de construcción. Allí, claramente se observan las interdependencias y los tiempos de espera resultantes, así como la escala de tiempo, que puede ser horizontal o vertical. Un análisis crítico de la carta en general permite una reasignación de actividades para reducir el tiempo inefectivo o cambiar la conformación del grupo.

Primero, es necesario determinar los tiempos de las actividades, ya sea cronometrando y registrando o bien usando grabaciones en video. Cronometrar usando un reloj de pulsera usualmente es adecuado, en particular para actividades relativamente largas, pero es preferible usar un cronómetro cuando sea posible. Se pueden registrar varios ciclos para obtener un tiempo promedio representativo de cada elemento antes de dibujar la carta de balance. Alternativamente, varios ciclos consecutivos pueden grabarse y registrarse en la carta usando los tiempos observados actuales en lugar de los tiempos promedio de las actividades. Esta aproximación se ajusta más en situaciones donde las actividades tienden a desviarse desde una naturaleza puramente cíclica.

### **CARTAS MULTICUADRILLA**

En muchas situaciones, como por ejemplo en la construcción de edificios de gran altura, existe la necesidad de identificar y coordinar muchas actividades con asignación de cuadrillas y programación de entrega de materiales, herramientas y equipos.

La carta multicuadrilla es semejante a una carta de balance en cuanto a su construcción y análisis, sólo que involucra una visión más global de todo el proceso constructivo y no se enfoca en una sola operación. Para cada frente de trabajo, maquinaria o equipo se utiliza una barra vertical u horizontal. En cada barra se registra si se está realizando trabajo de carácter productivo o no productivo (el trabajo puede clasificarse en diferentes categorías, dependiendo del estudio). Los recursos humanos que se utilizan en las actividades y el porcentaje de personas que trabajan (con respecto al grupo) también se indican, pero sin identificar sus especialidades. En la Figura 7.8 se presenta una carta multicuadrilla de una operación de excavación y refuerzo con hormigón proyectado (*shotcrete*).



## 10.10 Implementación de acciones correctivas

Una vez concluido cualquier estudio, determinado un método mejor y aprobado por quien corresponda, es necesario implementarlo en la práctica. Esta es una de las etapas más difíciles, y necesita de una gran habilidad por parte del encargado de realizarla.

La implementación del nuevo método puede subdividirse en cinco fases<sup>22</sup>:

1. Obtener la aprobación de la dirección superior.
2. Conseguir que el jefe de obra o capataz acepten el cambio.
3. Conseguir que los obreros acepten el nuevo método.
4. Enseñar el nuevo método a los trabajadores.
5. Seguir de cerca la marcha del trabajo, hasta tener la seguridad de que se ejecuta como estaba previsto.

En general, la dificultad principal de la implementación de un nuevo método, es la resistencia de los trabajadores a los cambios. Las razones de esta actitud natural de la mayoría de los seres humanos son<sup>23</sup>:

- a) Oposición racional: percepción de que el nuevo método es peor que el actual.
- b) Reacciones emocionales: inseguridad, miedo.
- c) Actitud egoísta, intereses personales.
- d) Impacto económico: percepción desfavorable.

Por las razones mencionadas, el encargado de introducir el cambio debe poseer algunas dotes personales tales como capacidad para explicar clara y sencillamente lo que se va a hacer, buen manejo de las relaciones humanas y aptitud para inspirar confianza. Existen además algunas formas útiles para superar la resistencia al cambio<sup>24</sup>:

1. Comunicar claramente qué se va a cambiar, y qué no va a ser modificado.
2. Determinar las causas más probables de resistencia al cambio.
3. Planear una estrategia para remover dichas causas.
4. Explicar la necesidad del cambio.
5. Dar entrenamiento apropiado, y estimular la participación.
6. Estar atento a la retroalimentación.

Además, para convencer a la gente o vender la idea, es necesario comprender la forma en que las personas adoptan como propias las ideas de otros, lo que se produce de acuerdo con:

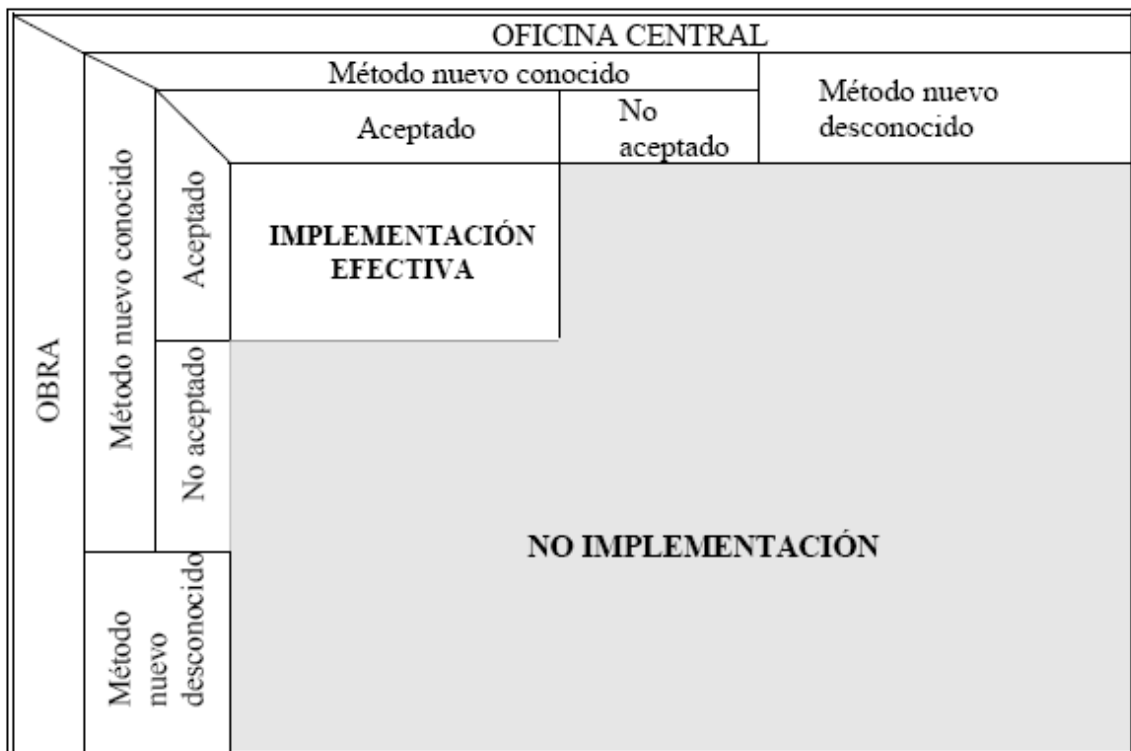
---

<sup>22</sup> Serpell, 2002

<sup>23</sup> Serpell, 2002

<sup>24</sup> Serpell, 2002

1. Conocimiento personal de que una idea es buena.
2. Interés: si una persona piensa que una idea tiene méritos, se genera interés en ella.
3. Evaluación: la persona decide si vale la pena hacer un intento o no.
4. Ensayo: se hacen ensayos a pequeña escala.
5. Adopción: si los ensayos son exitosos.



**Figura 7.9: Relación oficina central - obra en la implementación de nuevos métodos**

Es importante enfatizar nuevamente que no sólo los obreros y personal de terreno deben aceptar el método nuevo, sino que también lo debe hacer la oficina central.

## XI CONCLUSIONES

La experiencia y los resultados obtenidos han conducido al diseño de una estrategia de implementación de técnicas basadas en los principios de *Lean Construction* que ha producido buenos resultados pero éstos aún evolucionan. La estrategia implica el desarrollo de educación sistemática y acciones de investigación, una interacción activa con los directores superiores de contratos y sus organizaciones del proyecto, la colaboración entre empresas y una constante búsqueda de nuevas maneras para mejorar el proceso de implementación. Hay la necesidad de encontrar métodos para consolidar cambios dentro de las empresas, mantener la motivación y la persistencia en una cultura conservadora

Las conclusiones obtenidas en la presente tesina son las siguientes:

- La filosofía Lean es eso, una filosofía y no una receta de pasos a seguir. Para convertir una empresa cualquiera a una empresa Lean, pueden existir una infinidad de caminos diferentes.
- Uno de los mayores errores en los que la industria de la construcción cae de forma continua es marcarse objetivos para un plazo de tiempo demasiado corto. Esto implica, el intento de maximizar los beneficios en cada proyecto singular, como resultado se obtiene un producto final de peor calidad.
- La aplicación del *Lean Construction* en la construcción provocaría una serie de mejoras y un cambio de mentalidad en todos los niveles, se empezaría a aplicar el concepto de mejora continua y a dividir las actividades entre las que agregan valor y las que no.

**BIBLIOGRAFIA**

- Alarcón, L.F. (editor) (1997) "Lean construction". Balkema, Rotterdam.
- Alarcón, L.F.; Diethelm, S.; Rojo, O.; Calderón, R. (2008) "Assessing the impacts of implementing lean construction". *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(1), 26-33.
- Ballard, H.G. (1994) "The last planner". Northern California Construction Institute, Spring Conference, Monterey, disponible en <http://www.leanconstruction.org> (acceso 29/09/2008).
- Ballard, H.G. (2000a) "The last planner system of production control". Tesis Doctoral. University of Birmingham, Birmingham.
- Ballard, H.G. (2000b) "Lean project delivery system". Lean Construction Institute, California.
- Bosch, C. (2003) "Lean construction experience in Dragados". 5th Annual Lean Construction Congress, disponible en <http://www.leanconstruction.org> (acceso 2/08/2008).
- Botero, Luís Fernando; Alvarez Villa Marta Eugenia (2005) Last Planner un avance en la planificación y control de proyectos de construcción.
- Ballard, G. (2000) The last planner system of production control
- Campero, M.; Alarcon, L.F. (2008) "Administración de proyectos civiles" (3ª edición).
- Dos Santos, A. (1999) Application of flow principles in the production management of construction sites.
- Esben Misfeldt, Sten Bonke (2004) Quality Control in Lean Construction.
- Koskela, L. (1992) "Application of the new production philosophy to construction". Technical Report #72. Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University. Stanford.
- Koskela, L. (2000) "An exploration towards a production theory and its application to construction". Tesis Doctoral. Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- Latham, M. (1994) "Constructing the team". HMSO, Londres.
- Koskela, L. (2004) Moving on beyond lean thinking



Lichtig, W.A. (2006) "The integrated agreement for lean project delivery". The Construction

Lawyer, 26(3), disponible en <http://www.mhalaw.com/mha/newsroom/articles.htm> (acceso 29/09/2008).

Seopan (2007) "Informe anual 2006". Seopan, Madrid.

Saloman, J.A. (2005) Applications of the principles of lean production on construction.

The Voice (2007) "It's time for change. Lean project delivery: eliminating construction waste". The Voice, Summer.

Ugalde, R. (2007) "Los españoles coronan el ranking mundial de las infraestructuras". El Economista, 30 de Octubre.

Womack, J.; Jones, D. (1996) "Lean thinking: banish waste and create wealth in your corporation". Simon & Schuster, Nueva York..

Womack, J.; Jones, D.; Roos, D. (1990) "The machine that changed the world". Harper Perennial, Nueva York.

