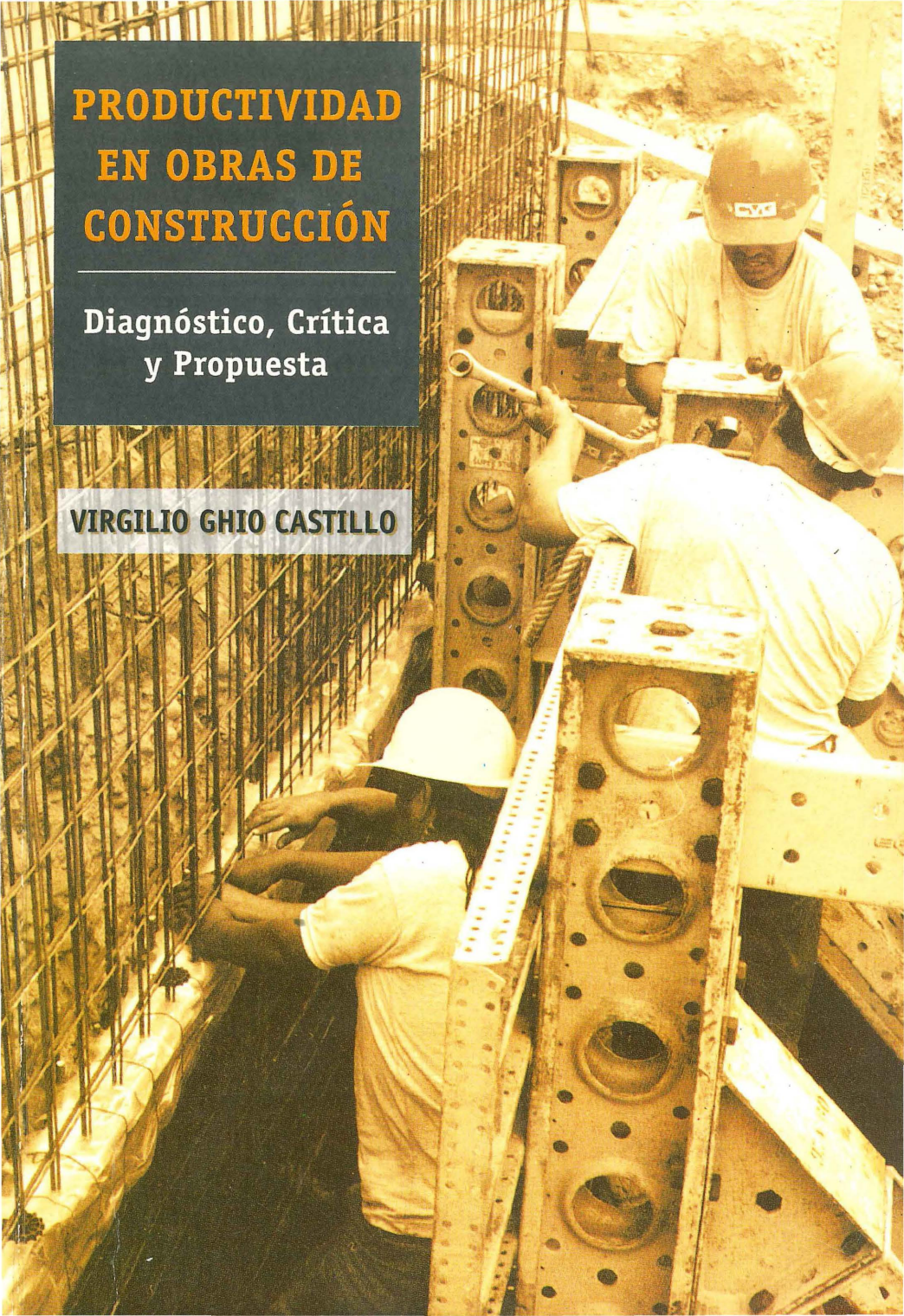


PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Diagnóstico, Crítica
y Propuesta

VIRGILIO GHIO CASTILLO



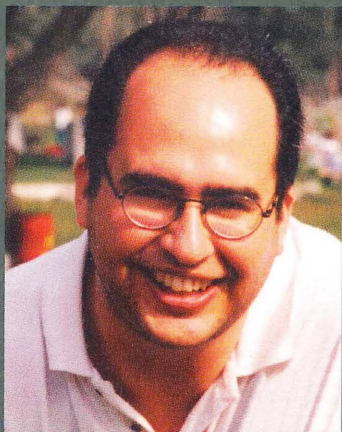


Foto: Alex Ferreccio

Virgilo Ghio Castillo (1965-2001) fue un pionero en el Perú de los métodos avanzados de gestión en la construcción, el aumento de la productividad y la reingeniería de procesos. Nació en Lima, Perú. Inició sus estudios en el Colegio Santa María. Estudió Ingeniería Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú, donde obtuvo su título profesional en 1989. Hizo estudios de postgrado en la Universidad de California, Berkeley, obteniendo el grado de Doctor en Ingeniería Civil en 1993, en la especialidad de construcción y gestión de proyectos. Luego de graduarse, trabajó un año en una de las firmas más prestigiosas de los EE UU, Ben C. Gerwick, Consulting Construction Engineers, donde se especializó en proyectos de concreto en ambientes marinos. En 1994 fue contratado por el Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Allí enseñó e investigó en las áreas de tecnología



**PRODUCTIVIDAD EN OBRAS
DE CONSTRUCCIÓN**

Diagnóstico, crítica y propuesta



PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Diagnóstico, crítica y propuesta

Virgilio Ghio Castillo



Pontificia Universidad Católica del Perú
FONDO EDITORIAL 2001

PRODUCTIVIDAD EN OBRAS DE CONSTRUCCIÓN

Diagnóstico, crítica y propuesta

VIRGILIO GHIO CASTILLO

Copyright© 2000 Fondo Editorial de la
Pontificia Universidad Católica del Perú
Plaza Francia N° 1164, Lima 1
Teléfonos: 330-7410, 330-7411
e-mail: feditor@pucp.edu.pe

Derechos reservados, prohibida la reproducción de este libro por cualquier medio total o parcialmente, sin permiso expreso de los editores.

Primera edición: noviembre de 2001
Impreso en Perú - Printed in Peru

ISBN : 9972-42-417-0
Depósito Legal : 1501212001-2994

Diseñador : Margot Scaccabarrozzi Cohn
Impresión : Amistad Editores e Impresores S.A.C.
Gral. Varela 2030 - Pueblo Libre

*Este libro está dedicado
a la gente de espíritu joven e ímpoluto,
a los que ya sea por su corta edad,
o por sus convicciones personales,
nunca se van a dejar llevar por aquellos
que piensan que el Perú no puede cambiar.*



PRESENTACIÓN

Pocos días antes de que se cumpliese el primer mes del sensible deceso del Dr. Virgilio Ghio Castillo, recibí de la Universidad el delicado encargo de escribir estas breves líneas para presentar su libro. Anteriormente me había correspondido la responsabilidad de revisarlo y fue por ello que recomendé al Ing. Manuel Olcese su publicación. Hoy, dadas las particulares circunstancias en que se publica este libro, no puedo dejar de referirme a la breve, pero vasta obra de Virgilio como profesional, como profesor, como hombre de bien.

Conocí a Virgilio en la década de los 80 como mi alumno en la Facultad de Ciencias e Ingeniería. Tiempo después, en 1994, luego de concluir sus estudios de doctorado en la Universidad de Berkley, Virgilio fue contratado por la Pontificia Universidad Católica de Chile como profesor a tiempo completo. Desde esa época iniciamos una intensa relación profesional y personal, que se prolongó y enriqueció a lo largo de los años. Nuestra amistad siempre se caracterizó por un fluido y sincero intercambio de experiencias.

En 1998, Virgilio regresó al Perú con el firme propósito de entregar a su país la importante experiencia adquirida durante sus estudios de post grado y su exitosa labor en Chile. Esta había ido más allá de la pura experiencia docente; se había dedicado también a una fructífera labor de investigación y asesoría a diversas empresas del medio.

Virgilio fue un hombre que siempre, con la mejor intención, manifestó con vehemencia sus puntos de vista. Es posible que este rasgo haya llegado a incomodar a más de uno de quienes lo conocieron; pero lo que nadie puede negar es la enorme entrega que diariamente ponía en su empeño por lograr los cambios que él consideraba necesarios para mejorar las condiciones de desarrollo en el Perú. Así, de regreso a nuestro país, no solo incursionó con éxito en la labor empresarial, sino que se vinculó activamente con nuestra Universidad en su afán por conseguir esas transformaciones. Incluso, dentro de ese espíritu de participación que siempre manifestó, en el último tiempo llegó a prestar apoyo técnico a los actores políticos del país.

Este libro es el mejor reflejo de lo que fue su valiosa vida profesional. En él, Virgilio realiza una crítica descarnada de las «taras», que según su opinión, tienen postergado el desarrollo de la Ingeniería Civil en el Perú; pero su aporte no se reduce a esto. Virgilio señala en forma clara y detallada los caminos, que a su juicio, deben seguirse para superar la situación actual de nuestra profesión. Asimismo, en forma generosa expone con detalle los métodos que supo adaptar e implementar en su empresa para mejorar su productividad.

Finalmente diré que considero este segundo libro de Virgilio una invitación a todos sus colegas a actuar con el mismo desprendimiento que siempre lo caracterizó. Este libro que hoy nuestra Universidad publica como la obra póstuma de Virgilio Ghio es una invitación a que seamos capaces de compartir con otros nuestras experiencias; sea mediante nuestra activa participación en diversos foros, sea mediante la labor docente, o, quizás, por qué no, mediante el dedicado trabajo de una obra como esta. La invitación queda abierta: seamos capaces de compartir nuestros conocimientos de la manera más desinteresada y transparente.

Santiago, mayo de 2001

ERNESTO VALLE VELARDE

PREFACIO

Este libro fue creado originalmente como un manual de procedimientos y entrenamiento básico para los profesionales que trabajaran en CVG Ingenieros, en los temas vinculados a la gestión de operaciones de construcción. Posteriormente, nos dimos cuenta que un mejoramiento puntual de nuestra empresa no era lo que buscábamos como empresarios ni como parte de nuestra sociedad. Consideramos que era necesario buscar que la industria de la construcción accediese a técnicas modernas de gestión que le permitiera avanzar en conjunto. A lo que apuntamos hoy como empresa no es solo a tener una parte mayor del mercado, sino también aspiramos lograr que el mismo sea más grande. Esto solo se logrará si vemos a la industria de la construcción en su condición de bloque y si nos damos cuenta del aporte real que los profesionales le debemos a nuestro país.

Parte de la información que se presenta en este libro demuestra cómo en el Perú solo producimos efectivamente el 28% del tiempo. De no mejorar los niveles de ocupación del tiempo y de mantenernos en niveles productivos tan bajos, nuestro país no podrá despegar de su condición de nación pobre y subdesarrollada. No importará qué tan bueno pueda ser el go-

bierno que nos toque.¹ Debemos convencernos de que la mayor parte del cambio real está en nuestras manos.

Este libro expone la situación actual y los niveles productivos de las empresas constructoras en el Perú hacia finales de los años 90 e inicios del nuevo milenio, así como una fuerte crítica a nuestro sistema. Además, se presentan propuestas concretas y de aplicación ya demostrada para iniciar el proceso de cambio y mejoramiento de la productividad y eficiencia que tanto nuestra industria como nuestro país necesitan profundamente. Se propone en forma tajante el rol que debería asumir el profesional como individuo. Se brindan herramientas concretas para que los profesionales de nuestro medio puedan enfrentar el mejoramiento de la productividad en su empresa. Se urge a los mismos a abandonar la costumbre del *hayqueísmo*, con el que se pretende que el resto haga lo que realmente le corresponde hacer a cada uno de nosotros. Se brinda información suficiente para pasar de la posición del *hay que hacer esto o lo otro*, para pasar a la acción inmediata, y busca convertir al lector en integrante directo de los procesos de cambio de nuestra industria y nación.

Es necesario acotar que el potencial de mejoramiento, bajo las condiciones actuales, es considerablemente alto, tanto en la industria, como en el ámbito del país. En la experiencia del autor, pasar de los niveles productivos promedio actuales de 28% hasta niveles del orden del 45% es relativamente sencillo, como se explica más adelante en este libro. En los siguientes capítulos se brindan las herramientas necesarias para llevar a cabo este salto cuantitativo. Pasar a niveles productivos del orden del 55-60% es ya una tarea más complicada. Ella conjuga el adecuado uso de la

¹ Pese a que el cambio está efectivamente en nuestras manos, tenemos ejemplos de gobiernos que pueden traer por los suelos cualquier iniciativa de la industria privada. Prácticas mercantilistas, por ejemplo, hacen parecer inútil cualquier intento de mejoramiento en el área de productividad.

filosofía y las herramientas de gestión de operaciones con un adecuado manejo de la constructabilidad de los proyectos a llevarse a cabo. En lo que respecta al tema de constructabilidad se sugiere a los lectores que se remitan al primer libro del autor (Ghio 1997) como bibliografía en español o a los libros y artículos en inglés citados en dicho libro. Adicionalmente, este libro presenta herramientas concretas para lograr, no solo un mayor aprovechamiento del porcentaje de utilización del tiempo en labores productivas, sino también para conseguir que el tiempo dedicado a estas sea más eficiente y se logren mejores rendimientos.

Cabe mencionar que gran parte de los ejemplos presentados en este libro corresponden al área de edificación, debido a la experiencia de los últimos años del autor. Sin embargo, la filosofía, así como las técnicas y herramientas presentadas en el libro son aplicables en cualquier tipo de obra e incluso a cualquier tipo de sistema productivo. El autor espera que en futuras ediciones se vaya ampliando el espectro de ejemplos.

En el capítulo 1 se discuten definiciones y el estado de la literatura en los campos de productividad, construcción sin pérdidas (*lean construction*), planificación de operaciones entre otros aspectos y que llamaremos *gestión de operaciones en la construcción*.

El capítulo 2 muestra el diagnóstico obtenido de la investigación realizada por Flores, Salízar y Torres así como por Carrasco y Bonelli. Estas dos tesis fueron dirigidas por el autor de este libro. Se presentan los resultados obtenidos en dichas tesis en relación con la productividad de obras de construcción en Lima, así como el estudio de las técnicas de planificación y su efecto en la productividad.

En el capítulo 3 se hace una crítica a los sistemas de manejo de obras actuales, así como a la forma en que se ha manejado la competitividad de muchas de nuestras empresas en los últimos años. Aquí se presentan algunas advertencias respecto de los caminos que, según el autor, deberíamos evitar, si es que queremos apuntar hacia una senda de desarrollo sostenido.

El capítulo 4 ofrece una propuesta concreta de cómo ve el autor la forma en que se debería enfrentar el manejo de la productividad en nuestro país. El autor muestra en forma abierta un sistema que ha desarrollado para su propia empresa y que hoy ha introducido en otras de nuestro medio. La propuesta es específica y está diseñada para que el lector pueda aplicarla de forma inmediata.

Finalmente, en el capítulo 5 se presenta la visión de Leonardo Rischmoller, autor invitado, acerca del futuro inmediato del manejo de la tecnología de información y su impacto en la productividad en la construcción en los siguientes años y en el capítulo 6 las conclusiones del libro. El lector debe comprender que, cuando nos referimos al futuro, nos es imposible alejarnos más que unos pocos años de la fecha en que se escribe el libro. Está de más decir que el cambio es una constante de nuestros tiempos, y la velocidad del mismo es y será cada vez mayor.

Nuestro trabajo está dirigido principalmente a los profesionales que trabajan en el área de construcción y particularmente a aquellos que son responsables del manejo de los proyectos en tales áreas. El libro también se dirige a los alumnos universitarios de pregrado y postgrado en las especialidades de Ingeniería Civil y Arquitectura. Cabe mencionar que los conceptos vertidos en este libro son también aplicables a la gestión de cualquier sector productivo y, por tanto, a otras industrias distintas a la industria de la construcción.

DR. VIRGILIO A. GHIO CASTILLO

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Pontificia Universidad Católica del Perú por su apoyo en la publicación de este libro, particularmente al profesor Jorge Zegarra, y agradece además al Fondo Editorial de esta misma casa de estudios.

Se debe mencionar aquí la decidida participación de Ruth Flores, Candy Salízar, Omar Torres, Luigi Bonelli y Luis Carrasco por su excelente desempeño como alumnos de tesis y su valiosa contribución a este libro e indirectamente al desarrollo del país. Nuestra especial gratitud a todas las empresas constructoras y a los profesionales que permitieron que ellos (ahora cotizados especialistas) visitaran sus obras y recogieran la información para la elaboración de sus respectivas tesis. Mucho de sus investigaciones aparece de forma parcial en este libro. Desafortunadamente, el nombre de tales empresas no puede ser mencionado para no burlar el acuerdo de confidencialidad que se fijó con ellas originalmente. Su apoyo es parte del esfuerzo conjunto que debe hacerse desde la industria para que el país siga avanzando en la dirección correcta.

Nuestra especial gratitud hacia la Empresa Graña y Montero. Muchas de las tablas y ejemplos que mencionamos provienen de obras en las cuales CVG Ingenieros ha trabajado en asociación

con Graña y Montero. Ambas compañías impulsan en conjunto la implementación y el desarrollo de herramientas de gestión para el aumento de productividad en nuestra nación.

Igualmente, nuestra gratitud a Javier Scaccabarozzi y Juan Manuel Lambarri por su revisión cuidadosa de los primeros borradores de este libro y por sus importantes comentarios y sugerencias.

Quedamos en deuda con el Dr. Leonardo Rischmoller por su aporte del capítulo *Una Visión de Futuro en la Industria de la Construcción en el Perú*. Nuestro compatriota es uno de los más reconocidos expertos en sistemas CAVT (*Computer Aided Visualization Tools*) en el mundo.

Agradezco, finalmente, a mi esposa Margot y a mis hijos por su apoyo incondicional y por su comprensión a mis continuas demoras para volver a casa durante la preparación de este libro.

ÍNDICE

Presentación	9
Prefacio	11
Agradecimiento	15
Capítulo 1	
INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES BÁSICAS VARIAS	21
1.1. Definiciones básicas varias	22
1.2. Modelo de conversión de procesos vs. Modelo de flujo de procesos	24
1.3. Producción sin pérdidas (<i>lean production</i>) La nueva filosofía de producción	27
1.4. Construcción sin pérdidas (<i>lean construction</i>)	30
1.5. Teoría del último planificador (<i>last planner</i>)	33
1.6. Teoría de planificación de recursos para 3-5 semanas (<i>look ahead planning</i>)	36
Capítulo 2	
DIAGNÓSTICO	39
2.1. Diagnóstico de productividad en la construcción	39
2.2. Resultados en la ocupación del tiempo	45

2.3.	Niveles de productividad según el tipo de proyecto	50
2.4.	Niveles de productividad según el tipo de empresa	51
2.5.	Niveles de productividad según el tipo de administración	51
2.6.	Administración de nivel superior y administración de nivel inferior	56
2.7.	Principales pérdidas en los procesos de producción	64
2.8.	Descripción de la principales causas de pérdidas	67
2.9.	Conclusiones del diagnóstico	72
2.10.	Consultoría y diagnóstico (<i>qué fácil es diagnosticar y qué difícil cambiar</i>)	73

Capítulo 3

CRÍTICA	75	
3.1.	¿Dónde está la competencia?	75
3.2.	Efecto de la crisis del final de los años 80 y 90	76
3.3.	Destajo, subcontratos de mano de obra y otras formas de liberarse del riesgo: <i>pros y contras</i>	77
3.4.	<i>Produzco poco porque no me pagan lo que merezco: la mediocridad en la producción y la mística del trabajo en la empresa privada</i>	79
3.5.	Crítica a los programas universitarios de Ingeniería Civil y al tipo de entrenamiento que se da a los alumnos.	82
3.6.	Políticas de gerencia basadas principalmente en el control de costos: <i>ahorrar el centavo negociando</i> vs. optimización y enfoque en eficiencia	84
3.7.	Enfoque único en gestión vs. enfoque en gestión + tecnología	86
3.8.	<i>Empujar</i> vs. <i>jalar</i> , suboptimización de partidas, trabajar en función de <i>la cancha disponible</i> y su efecto en la producción	89
3.9.	Competitividad real vs. <i>ganar licitaciones</i>	92
3.10.	Sobre la <i>independencia</i> de los ingenieros residentes y la necesidad del aporte de los superintendentes de obra y de la gerencia	94

3.11. Supervisión <i>a la antigua</i> y los contratos con multinacionales	95
3.12. De la corrupción	97
Capítulo 4	
PROPUESTA	99
4.1. La nueva filosofía de producción: un poco de luz dentro del caos	99
4.2. Sistema de mejoramiento de la productividad en la construcción: el sistema CVG	105
4.2.1. Planificación general de obra: planificación maestra por hitos	105
4.2.2. Planificación anticipada de recursos (<i>look ahead planning</i>)	112
4.2.3. Programación lineal: la importancia de la formación de <i>trenes de trabajo</i>	115
4.2.4. Programaciones semanales	121
4.2.5. Programaciones diarias	124
4.2.6. Órdenes de trabajo: transmisión de la información a terreno	127
4.2.7. Herramientas para el control de rendimientos	132
4.2.8. Mediciones de terreno	136
4.2.9. Flujo de información del sistema CVG	148
4.2.10. Uso de incentivos en el nivel del obrero	150
4.3. Requisitos por cumplir para la aplicación del sistema CVG en empresas constructoras	151
4.3.1. La importancia del conocimiento	151
4.3.2. El agente del cambio	152
4.3.3. Transmisión del conocimiento a terreno	153
4.3.4. Cómo lidiar con <i>el exceso de gente</i>	154
4.3.5. Unir compensación económica a las utilidades	155
4.3.6. Mejorar a los proveedores y subcontratistas: el siguiente paso	156

Capítulo 5

UNA VISIÓN DE FUTURO DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ	159
5.1. Introducción a la tecnología de la información en la industria de la construcción	162
5.2. Herramientas específicas proporcionadas por las TI a la industria de la construcción	164
5.2.1. Computación gráfica en la industria de la construcción	164
5.2.2. Reseña histórica del desarrollo de sistemas CAD ..	165
5.2.3. Visión general de los sistemas 2D CAD	167
5.2.4. Visión general de los sistemas 3D CAD	169
5.2.5. Sistemas 4D CAD: el paso a una nueva dimensión	171
5.3. CAVT y la realidad digital	172
5.3.1. <i>Computer Aided Visualization Tools</i> (CAVT)	172
5.3.2. La realidad digital	173
5.4. <i>Lean construction</i> y CAVT	175
5.4.1. <i>Lean construction</i> en la etapa de diseño	175
5.4.2. Constructabilidad: un nuevo enfoque a la luz de CAVT y <i>lean construction</i>	179
5.4.3. Una nueva construcción	181
5.4.4. Problemas organizacionales	182
5.5. Conclusiones	183
5.6. Reflexión	184

Capítulo 6

RESUMEN Y RECOMENDACIONES FINALES	187
--	------------

Bibliografía	191
---------------------------	------------

1. INTRODUCCIÓN Y DEFINICIONES VARIAS

Peter F. Drucker (1999) comenta en su libro, *Los desafíos de la gerencia en el siglo XXI*, que solo hace poco más de cien años que una persona preparada observó por vez primera el trabajo manual y al trabajador manual y emprendió un estudio de ambos. Incluso recuerda que grandes poetas como Hesiodo (siglo VIII AC) y Virgilio (siglo I AC) cantaron la labor del agricultor. Sin embargo, dichos cantos no guardaban la más remota relación con la realidad. Posteriormente, Carlos Marx (1818-1883) llegó a escribir sobre el trabajo manual y los trabajadores manuales, aunque lo hizo sin haber observado tampoco ni al trabajo ni a los trabajadores y sin haber siquiera tocado una máquina. El primer individuo que hizo ambas cosas, es decir, desempeñarse como trabajador manual y luego estudiar este trabajo, fue Frederick Winslow Taylor (1856-1915). Así, el trabajo serio en torno al manejo de la productividad tiene solo algo más de 100 años. En los países desarrollados, los estudios de Taylor tuvieron un tremendo impacto en la productividad de sus industrias, que aumentó a un ritmo de 3.5% anual compuesto. Es decir, la productividad del trabajador manual se multiplicó por un factor de 50 en los últimos 100 años. La productividad del trabajador manual creó lo que hoy conocemos como países desarrollados. Antes de Taylor, todas las economías eran igualmente subdesarrolladas (Drucker 1999).

En este libro se toca en gran medida las filosofías y las herramientas para mejorar la productividad del trabajador manual, en nuestro caso el obrero de construcción. Sin embargo, el enfoque empleado impacta directamente también en la productividad del trabajo de nuestros profesionales e incluso de nuestros técnicos, maestros de obra y capataces. Tenemos un largo camino por recorrer en el área de productividad en la construcción.

1.1. Definiciones básicas varias

A continuación resumimos brevemente algunas definiciones que serán utilizadas a lo largo de este libro:

- **Productividad:** es el cociente de la división de la producción entre los recursos usados para lograr dicha producción.
- **Planificación:** acto de definir el criterio para generar las estrategias de producción así como las directivas para lograr que se cumplan con éxito dichos criterios.
- **Flujo de trabajo:** el movimiento de información y materiales a través de la red de unidades de producción, cada uno de las cuales los procesa antes de dejarlos pasar a la unidades de *corriente abajo*.
- **Pérdidas:** Es toda aquella actividad que tiene un costo, pero que no le agrega valor al producto terminado. Ejemplo: esperas, demoras, transportes, etc.²

² Taiichi Ohno (1988) estableció una lista de pérdidas en la industria automotriz: defectos en los productos, sobreproducción de productos que no se necesitan, inventarios de productos esperando a ser procesados o consumidos, procesamiento innecesario, movimiento y transporte innecesario de personal, transporte innecesario de productos y materia prima, esperas de personal y equipos. Womack define dos niveles de pérdidas: pérdidas de primer nivel (relacionadas al trabajo no contributorio) y pérdidas de segundo nivel (referidas al trabajo contributorio). En la construcción estas pérdidas se concentran en transportes de materiales, movimientos (transportes y viajes del personal), esperas por cancha, demoras, dar/recibir instrucciones, tiempo ocioso, necesidades biológicas, entre otras.

- **Producción sin pérdidas** (*lean production*): Es aquel tipo de producción cuyo manejo operacional apunta a la eliminación/reducción de pérdidas. Cuenta con una serie de herramientas de gestión de producción que le permiten reducir las pérdidas a niveles bastante bajos.
- **Jalar vs. empujar**: un sistema que *empuja* la producción asigna el trabajo basándose en la demanda (*la cancha disponible*), mientras que un sistema que *jala* lo hace en función del status del sistema, es decir solo cuando se le requiere de acuerdo con la planificación operacional.
- **Trabajo productivo** (TP): trabajo que aporta en forma directa a la producción. Ejemplo, asentar ladrillos, vaciar concreto, etc.
- **Trabajo contributorio** (TC): trabajo de apoyo, que debe ser realizado para que pueda ejecutarse el trabajo productivo. Actividad aparentemente necesaria, pero que no aporta valor. Es una pérdida de segunda categoría. Ejemplo: recibir o dar instrucciones, leer planos, transporte de materiales, limpieza, etc.
- **Trabajo no contributorio** (TNC): cualquier actividad que no genere valor, y que caiga directamente en la categoría de pérdida. Son actividades que no son necesarias, tienen un costo y no agregan valor. Ejemplo: esperas, descansos, trabajo rehecho, viajes, etc.
- **Muestreo del trabajo**: método de medición del nivel de actividad (distribución de la utilización del tiempo) de un proyecto u operación. Técnica de muy bajo costo, alta precisión y gran efectividad para implementar procesos de cambio y mejoramiento de la productividad.
- **Capacidad de producción**: la cantidad de trabajo que puede llevar a cabo en un determinado tiempo una unidad de producción, ya sea individualmente o como grupo.
- **Benchmarking**: se refiere a la comparación de nuestra performance actual contra la del líder del negocio en un área en particular. En esencia significa encontrar e implementar la mejor práctica en nuestro campo.

- **Planificación maestra:** planificación general del proyecto, generada antes de iniciar los trabajos de construcción.

1.2. *Modelo de conversión de procesos vs. modelo de flujo de procesos*

Quizá una de las mejores formas de visualizar el potencial de mejoramiento en los sistemas productivos (ya sea en la construcción o en cualquier otra industria) es el nuevo modelo de producción conocido como *modelo de flujo de procesos*. En esta sección se discuten tanto el modelo de flujos como el modelo convencional conocido como *modelo de conversión*.

En el modelo de conversión, un proceso de producción es la conversión de una materia prima en un producto terminado. El modelo de conversión de procesos es la forma clásica en que se representan los trabajos individuales en la construcción. Este es, además, el formato mental mediante el cual muchos representamos el trabajo. Así, este formato se usa para los conocidos CPM (*Critical Path Method*), WBS (*Work Breakdown Structure*) y otros formatos estándares de representación del trabajo. Cada actividad (digamos, asentar ladrillo, vaciar concreto, colocar encofrado, etc.) se enmarca dentro de un rectángulo u otra figura. Cada rectángulo representa una conversión de materiales en bruto en algún producto terminado o en un proceso intermedio. Las flechas que unen dichos rectángulos nos indican la secuencia de las actividades, es decir qué precede a qué. La función principal del modelo de conversión de procesos es generar una descomposición jerárquica del trabajo, de forma que estas actividades descompuestas puedan ser controladas y optimizadas.

El proceso de conversión, sin embargo, está fundamentalmente errado. Al enfocarse únicamente en conversiones, el modelo elimina el concepto de los flujos físicos que existen entre los procesos de conversión. Estos flujos consisten principalmente de mo-

vimientos, esperas e inspecciones. En cierta forma, el modelo de conversión es una idealización correcta. Al menos desde el punto de vista del cliente tales actividades no son necesarias, ya que estas no le agregan valor al producto terminado. Sin embargo, en la práctica, el modelo ha sido interpretado de tal forma que estas actividades que no agregan valor pueden dejarse de lado y no ser consideradas, o puede pensarse que todas son actividades de conversión, y por tanto, susceptibles de ser tratadas como actividades que añaden valor al producto (Koskela 1992).

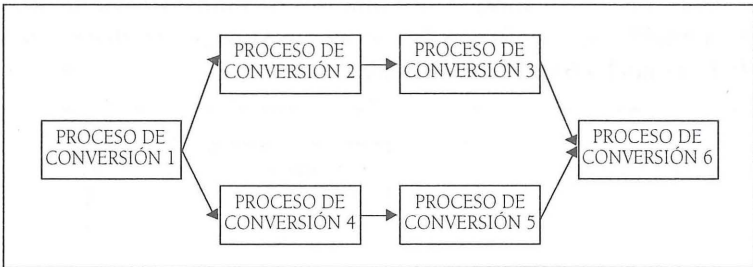


Figura 1.1. Modelo de conversión de procesos

El modelo de flujo de procesos, por su parte, ve el trabajo como un flujo de información compuesto por la conversión propiamente dicha, la inspección, los transportes y las esperas. Su principal objetivo se centra en la eliminación de pérdidas y a la reducción de tiempos de cada actividad. Este enfoque, en cual se pasa de una visión en la que solo se considera el proceso de conversión a un esquema mental donde se toman en cuenta los flujos que conectan el trabajo, permite dividir el trabajo en trabajo productivo (TP), trabajo contributorio (TC) y trabajo no contributorio (TNC) con mayor facilidad. Por otra, parte el modelo de flujos representa con mayor exactitud la realidad. Por ejemplo, en la actividad de asentado de ladrillo, no solo tenemos el mero asentado del ladrillo y la mezcla. Dentro de la actividad tenemos el transporte de los ladrillos y mezcla desde el punto de recepción y preparación hasta el punto de colocación, la preparación

de la mezcla, el mojado de ladrillos, la preparación de los andamios, las esperas varias, las instrucciones, las mediciones, las inspecciones, la repetición de trabajos mal ejecutados, por solo mencionar algunas otras actividades. En el caso del modelo de conversión, solo se representa la conversión propiamente dicha, obviándose el resto de los trabajos componentes de la actividad total. La conversión en sí, generalmente tiene algún nivel de pérdidas (TC y TNC); sin embargo, la mayor concentración de estas está en el resto de trabajos incluidos principalmente en los flujos. El modelo de conversión, por lo tanto, se olvida de las pérdidas, lo cual dificulta encontrarlas y eliminarlas en la práctica. Esta es una de las razones teóricas por las que el nivel de TP es tan bajo en la construcción.

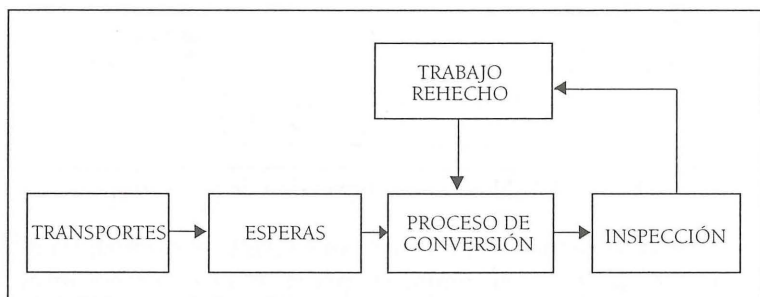


Figura 1.2. Modelo de flujo de procesos

(Cada proceso se representa como la combinación de TP, TC y TNC)

En resumen, para el modelo de representación de trabajo tradicional (modelo de conversión de procesos), las actividades de producción son concebidas como un grupo de operaciones o funciones que son controladas, operación por operación, para obtener menores costos y mejorar periódicamente con respecto a la productividad, al implementar nuevas tecnologías. Para una nueva filosofía de producción (modelo de flujo de procesos), las actividades de producción son concebidas como el flujo de procesos de materiales e información, los cuales son controlados apretada-

mente para obtener una mínima variabilidad y mínimos tiempos; estos son mejorados continuamente con respecto a la reducción/eliminación de pérdidas y generación de valor así como sometidos a perfeccionamientos periódicos con respecto de la eficiencia mediante la implementación de nuevas tecnologías.

1.3. Producción sin pérdidas (lean production): la nueva filosofía de producción

La nueva filosofía de producción se desarrolló en Japón de los años 50, siendo su más renombrado ejemplo la compañía Toyota. La idea básica en el sistema de producción de Toyota fue la eliminación de inventarios y otras pérdidas³ a través de la producción en lotes pequeños, reducción de tiempo de arreglo de equipos para elaborar diferentes productos, semiautomatización de la maquinaria, cooperación con proveedores así como otras técnicas (Koskela 1992, Womack 1995). Estas ideas han sido redescubiertas en diversas oportunidades (Goldratt 1992) y en los últimos años se les ha dado un gran énfasis en los procesos de cambio en muchas empresas en todo el mundo. Al mismo tiempo que se desarrollaban los conceptos y técnicas de lo que se conoce ahora como *lean production*, también se fueron desarrollando las teorías de calidad (TQM y otras relacionadas). Estos conceptos fueron divulgados en los años 80 por Demming (1982) y otros autores. Recién a principios de los años 90 es que la nueva filosofía de producción comienza a tomar auge en cuanto a su difusión.

La nueva filosofía de producción plantea que la producción es un flujo de materiales y/o información desde la materia prima hasta el final del producto terminado. En este flujo, el material es procesado (convertido), es inspeccionado, está esperando o se está

³ Nótese para futuras referencias que pérdidas en inglés es *waste* y en japonés es *muda*.

moviendo. Estas actividades son inherentemente distintas. El procesamiento representa el aspecto de conversión de la producción, la inspección, el movimiento o transporte, y las esperas representan el flujo de la producción. En esencia, la nueva concepción implica una visión dual de la producción: esta consiste en conversiones y de flujos. Por tanto, la eficiencia de la producción es atribuible tanto a la eficiencia de los procesos de conversión como a la eficiencia del flujo de actividades, mediante las cuales los procesos de conversión son unidos. Mientras que todas las actividades tienen un costo y consumen tiempo, solo los procesos de conversión añaden valor al producto final. Por esto, el mejoramiento en los flujos debe centrarse en su reducción o eliminación, mientras que los procesos de conversión deben volverse más eficientes (Koskela 1992). Este concepto es ilustrado en la figura 1.3, en la que se muestra, además, una comparación de la diferencia que existe entre los enfoques convencionales (modelo de conversión), el enfoque de calidad y el enfoque de la nueva filosofía de producción.

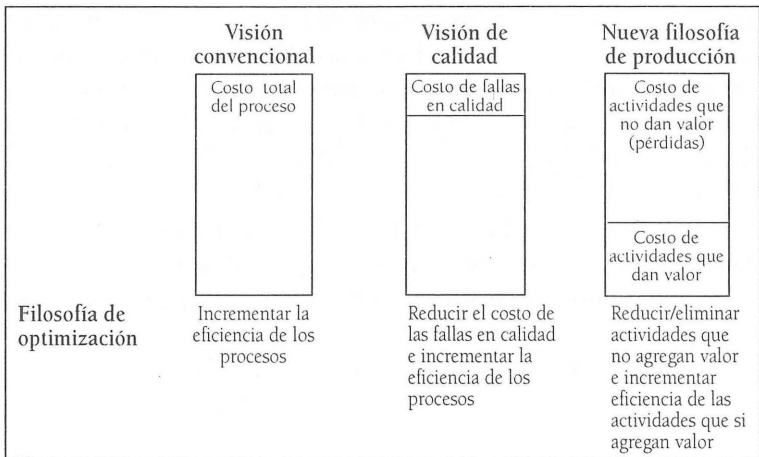


Figura 1.3. Comparación de los enfoques de diferentes filosofías de producción (Koskela 1992)

La nueva filosofía de producción considera los siguientes elementos dentro de su diseño y control de la producción en la práctica (Koskela 1992):

- Reducción de las actividades que no agregan valor.
- Incremento del valor de la producción a través de una consideración sistemática de los requerimientos del cliente.
- Reducción de la variabilidad.
- Reducción del tiempo de los ciclos.
- Simplificación mediante la reducción de pasos, partes y relaciones.
- Incremento de la flexibilidad del producto terminado.
- Incremento de la transparencia de los procesos.
- Enfoque en el control de los procesos completos.
- Introducción de procesos de mejoramiento continuo dentro de nuestros procesos.
- Balance del mejoramiento de los flujos con el mejoramiento de las conversiones.
- Comparaciones periódicas dentro y fuera de la empresa (*benchmarking*).

En el capítulo 4 de este libro se brindan herramientas concretas que resuelven los puntos descritos antes, específicamente aplicados para la industria de la construcción del Perú.

Howell (1999) define el concepto de producción sin pérdidas (pese a que reconoce que el concepto sigue evolucionando rápidamente) como la entrega al cliente de forma instantánea (a la orden) de un producto hecho a la medida sin mantener inventario alguno. Este concepto incluye:

- Identificar y entregar valor al cliente, eliminando aquello que no agregue valor.

- Organizar la producción como un flujo continuo.
- Perfeccionar el producto y crear un flujo confiable a través de *parar la línea*,⁴ *jalar* el inventario y distribuir la información y la toma de decisiones.
- Buscar la perfección: entregar un producto, como lo requiere el cliente, sin pérdida alguna.

1.4. Construcción sin pérdidas (lean construction)

Lo que se conoce como *construcción sin pérdidas* (de acuerdo con el *Lean Construction Institute*, www.leanconstruction.org) es una nueva manera de aplicar la gestión de producción en la industria de la construcción. Como su nombre denota, esta es una teoría que se ha desarrollado sobre la base de los descubrimientos de la producción sin pérdidas, descrita en la sección anterior. La filosofía de *lean construction* comienza a tomar auge a comienzos de los noventa, mediante el trabajo realizado por el *International Group of Lean Construction*, el cual congrega a investigadores y a profesionales del medio de la construcción del todo el mundo (www.iglc.html).

En principio, al igual que en el marco teórico de la producción sin pérdidas, lo que diferencia a la construcción sin pérdidas de las prácticas convencionales es su enfoque en las pérdidas y en la reducción de las mismas. El segundo punto fundamental es el

⁴ Taiichi Ohno es el ingeniero que lideró la implementación de los conceptos de *lean production* en Toyota. Fue conocido por su fuerza en la aplicación práctica de dichos conceptos. Ohno diseñó un sistema en el cual cualquier trabajador de la línea de producción tenía la autoridad de parar toda la línea si es que encontraba un producto defectuoso. La posibilidad de poder parar la línea de producción no solo descentralizó la toma de decisiones, sino que demostró el enfoque en el proceso completo de Ohno, en contraposición con el enfoque tradicional en donde se trataba de optimizar los procesos puntuales.

manejo del modelo de flujos planteado por Koskela (1992) en contraposición del modelo de conversión. El modelo de flujo de procesos permite visualizar las abundante pérdidas que usualmente se encuentran en la construcción y que el modelo de conversión no permite ver. En vez de mejorar únicamente los procesos, la nueva filosofía apunta a mejorar tanto los procesos como los flujos (Ballard *et al* 1994). Por lo tanto, la teoría de construcción sin pérdidas requiere fortalecer los sistemas de gestión de producción así como los proceso de producción en sí, centrando su trabajo en el manejo de un sistema adecuado de planificación operacional y diseño de procesos.

La orientación de la planificación utilizada en la construcción sin pérdidas así como las técnicas de control empleadas reducen las pérdidas principalmente a través de mejorar la confiabilidad de los flujos. El punto de partida es acrecentar la confiabilidad de las asignaciones de trabajo al nivel de la producción misma. Este enfoque no coincide con la forma actual en la que se gestionan proyectos, en la cual se confía en el manejo en el ámbito del proyecto completo para coordinar el trabajo, contratar el mismo, y para medir la performance de los sistemas de control. Los sistemas de gestión tradicionales, al carecer de un sistema que permita predecir con cierta exactitud el flujo de trabajo, por lo general diseñan cuadrillas que deben adoptar un esquema de flexibilidad para mantenerse ocupadas. Desafortunadamente, la aplicación de flexibilidad en un punto de trabajo requiere de flexibilidad en toda la línea de producción. Por lo tanto, los sistemas de gestión de producción actuales inyectan incertidumbre en el flujo de trabajo y por consiguiente pérdidas.

El esquema sugerido por el movimiento de construcción sin pérdidas empieza por estabilizar el flujo de trabajo a través del logro de una planificación confiable que genere una suerte de *escudos* que protejan las cuadrillas y la producción de las incertidumbres que la administración de obra no puede controlar.

Al inyectar certidumbre al flujo de trabajo y generar escudos sobre la producción, mejora la performance del trabajo de forma inmediata en un orden de magnitud del 30%, mientras que se estabiliza la producción de las actividades subsecuentes (Koskela 1992). Un flujo de trabajo predecible, en cualquier punto de la producción, hará posible que se reduzca la variación de los requerimientos de recursos, así como el rediseño de las operaciones subsecuentes. Las técnicas propuestas por la construcción sin pérdidas han sido probadas tanto en diseño como en construcción, en proyectos chicos y grandes, *fast track* y secuenciales, así como en el trabajo de subcontratistas especializados.

De acuerdo con Ballard (1994), en los esquemas convencionales de manejo de obras de construcción, se invierte mucho tiempo y dinero en generar presupuestos y planificaciones de obra para convertir una serie de deseos sobre la forma en que se llevará a cabo un proyecto en la realidad. El esfuerzo de planificación inicial se convierte durante la ejecución de la construcción en un esfuerzo de control. Todo funcionaría bien si viviésemos en un mundo perfecto. La planificación se suele desviar de los planes originales prácticamente el primer día de la obra causando una reacción en cadena que genera la necesidad de replanificar gran parte del proyecto. Al irse reduciendo las holguras dentro de la planificación general, se va generando una presión mayor por terminar más rápido. Esto hace que la ejecución de la obra se haga, por lo general, aún peor. Los costos de mano de obra y equipo suben radicalmente, y por lo general se aplica lo que algunas empresas constructoras locales conocen como *ataque apache*. En estos casos se usa una gran cantidad de recursos, a una eficiencia muy baja para lograr culminar la obra en los plazos establecidos. Los estudios de Ballard (1994) sobre cuál es el porcentaje de cumplimiento real de las planificaciones de obra han demostrado que aproximadamente 1/3 de las veces no se cumple con lo planificado para el lapso de una semana.

Como respuesta la costumbre de planificar y controlar los proyectos de forma global, se ha desarrollado una serie de metodologías para resolver el problema de la falta de confiabilidad en las planificaciones en forma diferente. En principio, el enfoque para resolver el problema es la planificación de horizontes de tiempo más cortos y por tanto más predecibles, más confiables. A continuación se discuten dos de estas herramientas, la de *last planner* y la de *look ahead planning*, las cuales tienen un potencial demostrado de reducción de costos y plazos.

1.5. Teoría del último planificador (last planner)

Se define al *último planificador* a la persona o grupo de personas cuya función es la asignación de trabajo directo a los trabajadores. El nombre de último planificador proviene del hecho que este no da instrucciones a ningún otro nivel de planificación posterior, sino que ellas van directamente a terreno, a las operaciones de construcción. Adicionalmente, la función del último planificador es lograr que lo que *queremos* hacer coincida con lo que *podemos* hacer, y finalmente ambas se conviertan en lo que *vamos* a hacer. Esta herramienta fue publicada por primera vez por Glenn Ballard (1994 II).

De acuerdo con la investigación realizada en 50 obras en Lima (Carrasco *et al.* 2000), es común que la función del último planificador la lleven a cabo los capataces, maestros y en algunos casos los ingenieros de obra, aunque por lo general de forma bastante artesanal y precaria. Cuando se usa este tipo de planificación de manera formal se supera el nivel de planificación del tipo *un piso por semana* y se entra en un nivel de detalle mucho mayor en cuanto a la asignación de volúmenes de trabajo para cada cuadrilla, así como del sistema constructivo a utilizar.

Por otra parte, la teoría del último planificador se enmarca dentro de un esquema de planificación de corto plazo (normalmente de una semana), con el fin de asignar trabajos que sepamos a ciencia cierta

que van a cumplirse. Está plenamente demostrado que las planificaciones con un horizonte demasiado largo generalmente no se cumplen y generan desconfianza en los sistemas de planificación.

Ballard define la necesidad absoluta de un compromiso profundo con cumplir efectivamente con las actividades planificadas en cada horizonte de una semana. Se establece que el último planificador debe seleccionar las actividades que cuentan con todos los recursos necesarios para que puedan cumplirse. En este sentido, *el look ahead planning*, que se discute en la siguiente sección, es el filtro que nos ayuda a seleccionar las actividades que son factibles de realizar. Todas estas actividades deberán ser culminadas religiosamente en el plazo establecido. Dentro del compromiso, debemos exigir que el trabajo que se *seleccione* para la planificación semanal cumpla con estar en la secuencia correcta, que sea una cantidad proporcional y de acuerdo con la disponibilidad de mano de obra y equipos, y que pueda ser hecho efectivamente (es decir que las actividades precedentes sean completadas). Ballard también plantea, para verificar el cumplimiento de la planificación operacional semanal, una herramienta llamada PPC (*Percentage Planned Complete*, o porcentaje de actividades planificadas cumplidas). El PPC compara el número de actividades planificadas cumplidas durante la semana con el total de actividades programadas para la semana. El PPC mide la eficiencia de la planificación operacional así como su confiabilidad real.

Un tema de alta importancia en el esquema del último planificador es activar *escudos*⁵ para la producción. Esto se logra única-

⁵ Al generar *escudos* en la construcción logramos aislar en gran medida los procesos constructivos de tal forma que no afectan la construcción misma por factores externos como no contar con materiales a tiempo, problemas varios con proveedores, etc. Es común que en la construcción le echemos la culpa de la falta de confiabilidad a una serie de factores externos. Los escudos además de reducir/eliminar estos problemas, eliminan las excusas del manejo de terreno.

mente seleccionando actividades que puedan ser completadas con éxito. Es decir, como se comenta en el capítulo 4, debemos lograr un ajuste perfecto entre la capacidad de producción de las cuadrillas y equipos con el trabajo que se les asigna en la planificación semanal. Evitemos engañarnos al planificar actividades que no cuentan con los recursos para ser culminadas. Por ende, al realizar un buen análisis, nos daríamos cuenta de antemano que la planificación de dicha actividad no es factible, y por ende considerarla dentro de nuestros planes es una mentira piadosa hacia nosotros mismos.

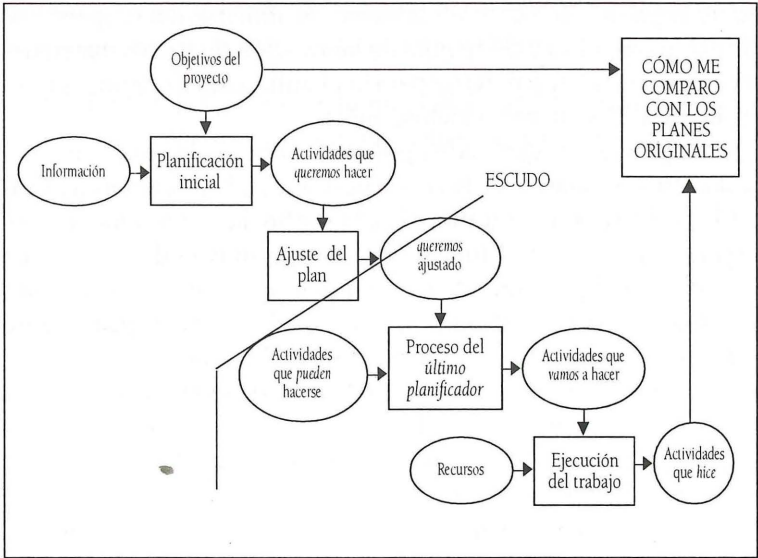


Figura 1.4. Esquema del último planificador
(Traducido de Ballard. 1994 II)

1.6. Teoría de planificación de recursos para 3-5 semanas (look ahead planning)

De acuerdo con el *Lean Construction Institute*⁶ (USA), el *look ahead planning* es la planificación de jerarquía media (digamos, entre la planificación maestra de obra y la planificación operacional semanal), dedicada a controlar la asignación de mano de obra, materiales, equipos, información y dinero, de forma que la planificación de corto plazo se haga en función de actividades que son *posibles*. El criterio de *posibilidad* se establece a partir de que dichas actividades cuenten con todos los recursos necesarios para lograr un escudo sobre la producción con 3-5 semanas de anticipación (dependiendo del tipo de obra y del tiempo de fabricación de ciertos materiales y equipos, el tiempo previsto para la planificación de recursos puede llegar a 12 semanas o incluso más).

Los programas generados por el *look ahead planning* son utilizados en la industria de la construcción con la intención de dirigir los esfuerzos de la gestión de obra sobre las actividades que se esperan ejecutar en el futuro cercano, promoviendo la toma de acciones en el presente, de manera que permitan que ese futuro sea una realidad. Debo hacer notar que el *look ahead planning* no está concebido como una herramienta de planificación de operaciones y por tanto no sirve como tal para la asignación del trabajo a las cuadrillas en terreno. El concepto original del *look ahead planning* también fue desarrollado por Ballard y Howell (1994); Ballard (1997); Howell y Ballard (1997).

El *look ahead schedule* es el resultado del *look ahead planning*. Esto se obtiene a través de la expansión de la planificación maes-

⁶ El *Lean Construction Institute* (LCI, www.leanconstruction.org.htm) es un instituto de investigación y asesoría en los Estados Unidos, dedicado al desarrollo de la teoría y herramientas prácticas de lo que se conoce como *lean construction*.

tra, escrutando las actividades que permiten pasar al siguiente nivel de planificación operacional. Este sistema funciona como una lista de verificación, con el cual comprobamos que cada actividad planificada para una ventana de tiempo de 3-5 semanas cuente con los recursos necesarios cuando estos sean requeridos en terreno. Además, la intención es no permitir pasar a aquellas actividades que no tengan asegurada su completa asignación de recursos al nivel de la planificación semanal. Por lo general, el trabajo que se realiza en este sentido suele ser pobre y genera atrasos basados en falsas expectativas de la planificación y bajos resultados en el porcentaje de cumplimiento de las actividades planificadas (PPC). Un ejemplo típico de *look ahead planning* de cinco semanas se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 1.1. Ejemplo de formato de *look ahead planning*
(De acuerdo con un formato de Ballard)**

Actividad	Semana 1 LM MJVS	Semana 2 LM MJVS	Semana 3 LM MJVS	Semana 4 LM MJVS	Semana 5 LM MJVS	Requerimientos
Encofrado dinteles	XXX	XXX		XXXXXX		Compra mts
Acero dinteles	XXX	XXX		XXXX	X	Orden de fierro de 3/8, contratar MO
Concreto vigas	XX	XXX	XXX			Traer mezcladoras compra mts
Corte de dowels			XX	XX		Alquilar amoladoras
Pintura de coberturas				XXXXXX	XXXXXX	Contrato, definir color, comprar mts

Como se puede apreciar en la tabla, el *look ahead planning* es un listado expandido de la planificación maestra, con las actividades que esperamos realizar en las siguientes cinco semanas, en el

que se marcan los días previstos para llevarlas a cabo. En la última columna se colocan los requerimientos para que estas se realicen. Lo que tratamos de hacer es adelantarnos a los requerimientos futuros con el fin de elevar al nivel de la planificación semanal únicamente a las actividades que hayan cumplido todos los requisitos para ser efectuadas sin inconvenientes. El porcentaje de PPC se incrementa substancialmente cuando se trabaja con este tipo de herramienta. Adicionalmente, mediante el uso de esta se logra reducir la incertidumbre de la planificación, particularmente de aquella en que se asignan tareas al campo. Esto mejora la confiabilidad del sistema y reduce las pérdidas en los flujos.

2. DIAGNÓSTICO

Este capítulo está centrado en las tesis desarrolladas por Flores, Salízar y Torre (2000) y por Bonelli y Carrasco (2000). Estas dos tesis fueron llevadas a cabo en la Pontificia Universidad Católica del Perú, bajo la supervisión del autor de este libro.

2.1. Diagnóstico de productividad en la construcción

A principios de 1999, un grupo de alumnos de la Pontificia Universidad Católica, bajo la asesoría del autor del presente libro, condujo una investigación del nivel de productividad en obras de construcción en Lima (Flores, Salízar, Torres, 1999). Este es el primer esfuerzo que se ha llevado a cabo en esta área en el Perú. Era de nuestro particular interés determinar el nivel competitivo de las empresas constructoras del medio y en esta forma compararnos con estándares internacionales. Se analizaron 50 obras en Lima, principalmente en el área de la edificación. Estas obras se clasificaron por el tipo de empresa así como por el tipo y monto de la edificación. Solo se analizaron obras construidas por empresas constructoras formalmente constituidas.

El trabajo de investigación incluyó los siguientes puntos:

- **Muestras de trabajo del nivel general de obra:** este es un muestreo estadístico que se realiza de forma aleatoria en el

cual se contabiliza el TP, TC y TNC, así como los diferentes componentes de cada uno de estos tipos de trabajo. Esta medición está orientada a la cuantificación de cómo es usado el tiempo por el personal obrero en toda la obra. De esta forma podemos evaluar numéricamente qué porcentaje del tiempo de trabajo total de los obreros se dedica a labores productivas, cuánto a labores contributorias (TC) y cuánto a labores no contributorias (TNC). Adicionalmente, los TC y TNC se subdividen en subcomponentes, los cuales son discutidos más adelante.

- **Muestreo del trabajo para actividades particulares con sus respectivas cartas de balance:** este es un muestreo estadístico de actividades específicas. Se evalúa el porcentaje de tiempo que se dedica dentro de cada actividad, a cada componente de la partida, por cada obrero que compone la cuadrilla en análisis.
- **Encuestas a profesionales responsable de obra:** entrevistas para conocer la organización interna de la administración de las obras, las responsabilidades de cada profesional en el nivel de detalle de la planificación tanto en obra como en el ámbito de la empresa, así como los esfuerzos realizados para el mejoramiento de los sistemas de producción.
- **Encuestas a personal obrero:** Entrevistas orientadas a obtener mayor información de los sistemas de administración, el grado de detalle y la forma en que se transmite la información de la planificación a los obreros así como el control de la producción y los factores que la afectan.

Para poder ordenar la información obtenida en el proyecto de investigación se optó por clasificar los proyectos estudiados de acuerdo con:

- Tipo de proyecto
- Tipo de empresa
- Sistema de administración de obra

La clasificación por *tipo de proyecto* se centró en la magnitud de cada proyecto, basándose en el monto de obra así como en el grado de supervisión por parte del propietario, como se puede apreciar en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación por tipo de proyecto

Tipo	Monto del Proyecto	Grado de Supervisión por parte del dueño o empresa
A	> US\$ 1 500 000	De eventual a permanente
B	Hasta US\$ 1 500 000	De ninguno a eventual
C	≤ US\$ 500 000	Ninguno

La clasificación por *tipo de empresa* tiene como objetivo identificar a la empresa según los resultados de su gestión en la administración de cada proyecto. Se buscó determinar la influencia de la empresa en factores como el tipo de organización, tecnología, seguridad y control administrativo de obra empleado. Estos puntos podrían afectar la productividad de obra. Se investigará este punto con los resultados de terreno. La clasificación utilizada para el tipo de empresa está definida mediante la Tabla 2.2.

Finalmente, también se clasificaron los proyectos por *el sistema de administración en obra*. Este tipo de clasificación busca identificar el tipo de administración utilizado en la etapa de construcción. Se clasificó a las obras según los factores que determinan su influencia en la ejecución de las operaciones de producción en obra, como son: cómo es la planificación de operaciones, quién las realiza, la frecuencia de su actualización y la forma en que se transmite al personal de producción, así como el nivel del diseño de operaciones y la forma de distribución de los recursos en obra. Véase Tabla 2.3.

Tabla 2.2. Clasificación por tipo de empresa

	Empresas tipo C	Empresas tipo B	Empresas tipo A
	Maestro permanente, ingeniero o arquitecto eventual o cualquiera de estas combinaciones	Maestro permanente, ingeniero permanente, asistente técnico permanente (no siempre)	Equipo de trabajo permanente, compuesto por jefe de proyecto, ingeniero de producción, ingeniero de costos, administrador, maestro, asistente.
Tecnología utilizada	Mínima: mezcladora, vibradores	Equipos menores: sistemas mixtos de encofrados, winches, mezcladoras, vibradores, concreto premezclado, equipos de trazo y replanteo, computadoras, etc.	Variedad de equipos computadoras, mezcladoras, vibradores, winches, grúas, plataformas verticales, fajas transportadoras, concreto premezclado, equipos de trazo y replanteo, equipos de movimiento de tierras, sistemas modernos de encofrado, etc.
Control interno	Control informal: recorridos de obra, cumplimiento de metas.	Algún tipo de informe escrito, usualmente informes de avance y costos.	Reportes escritos de producción, avance y costos.
Seguridad en obra	Ninguna o mínimas. La seguridad es responsabilidad de cada trabajador.	Parcial. Uso obligatorio de cascos, eventualmente equipos menores de seguridad, líneas de vida, guantes, gafas, zapatos de seguridad, botas, cinturones de seguridad, señalización, etc.	Sistema de seguridad establecido (uso obligatorio de cascos, zapatos de seguridad, cinturones de seguridad, gafas, guantes, botas de jebes, líneas de vida, señalización etc.).

Tabla 2.3. Clasificación según el sistema de Administración en Obra

	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Responsable de la planificación	El maestro general, quien está permanentemente en la obra. El profesional responsable o el propietario visita la obra periódicamente con la finalidad de controlar el avance, abastecimiento de materiales, etc.	El ingeniero es consciente de la planificación y, por lo tanto, establece metas semanales a ser cumplidas en obra; su presencia ahí responde a la verificación del cumplimiento de estas metas y el control de la calidad de la obra.	El ingeniero, sobre la base de una planificación que es realizada y actualizada por el mismo o por la empresa constructora, determina metas diarias de producción en la obra.	Existe un profesional responsable de la planificación, el cual actualiza y reprograma las actividades, y determina así la producción diaria en obra.	Existe un profesional responsable de la planificación, el cual actualiza y reprograma las actividades, y determina así la producción diaria en obra.
Actualización de la planificación	Ninguna	Ninguna o verificaciones semanales.	De ninguna a verificaciones diarias	Verificaciones semanales a reprogramación de la obra.	Desde verificaciones diarias a reprogramación de la obra.
Planificación de la utilización de los recursos	El número de integrantes de las cuadrillas, el tiempo, materiales y los equipos empleados para ejecutar determinada tarea son determinados según la experiencia de los capataces o del maestro general.	El número de integrantes de las cuadrillas, el tiempo, los materiales y los equipos empleados para ejecutar determinada tarea, son determinados según la experiencia del ingeniero, los capataces o el maestro general.	El número de integrantes de las cuadrillas, el tiempo, los materiales y los equipos empleados para ejecutar determinada tarea son determinados según la experiencia del ingeniero, los capataces o el maestro general, y en el mejor de los casos se establecen rendimientos mínimos.	El número de integrantes de las cuadrillas, el tiempo, los materiales y los equipos empleados para ejecutar determinada tarea son determinados en gran medida por el ingeniero en coordinación con el maestro general, y en función de rendimientos mínimos establecidos por el ingeniero o por la empresa.	El número de integrantes de las cuadrillas, el tiempo, los materiales y los equipos empleados para ejecutar determinada tarea son determinados en su totalidad por el ingeniero en coordinación con el maestro general, y en función de rendimientos mínimos establecidos por el ingeniero o por la empresa.
Diseño de			Se diseñan únicamente	Se diseñan procesos constructivos específicos que envuelven casos complicados	Se diseñan procesos constructivos específicos que envuelven casos complicados

continuación...

Tabla 2.3. Clasificación según el sistema de Administración en Obra

	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Transmisión de la planificación	Los alcances de la planificación se transmiten en forma oral del maestro de obra a los capataces.	Las metas semanales quedan establecidas en forma oral, que el maestro transforma en tareas diarias para los obreros.	Las metas diarias provenientes de la planificación semanal son transmitidas al maestro de forma oral, las cuales el maestro transforma en tareas diarias para los obreros.	La producción diaria, proveniente de la planificación, es transmitida al maestro general en forma escrita, quien a su vez da las instrucciones necesarias en forma oral a los capataces y jefes de cuadrilla.	La producción diaria, proveniente de la planificación, es transmitida al maestro general en forma escrita, quien a su vez da las instrucciones necesarias en forma oral a los capataces y jefes de cuadrilla.
Distribución de recursos	El maestro general distribuye los recursos (mano de obra, materiales y equipos).	El maestro general distribuye los recursos (mano de obra, materiales y equipos).	El maestro general distribuye los recursos (mano de obra, materiales y equipos) bajo la supervisión del ingeniero.	El maestro general distribuye los recursos (mano de obra, materiales y equipos) bajo la supervisión del ingeniero.	El maestro general distribuye los recursos (mano de obra, materiales y equipos) según lo definido por el ingeniero.

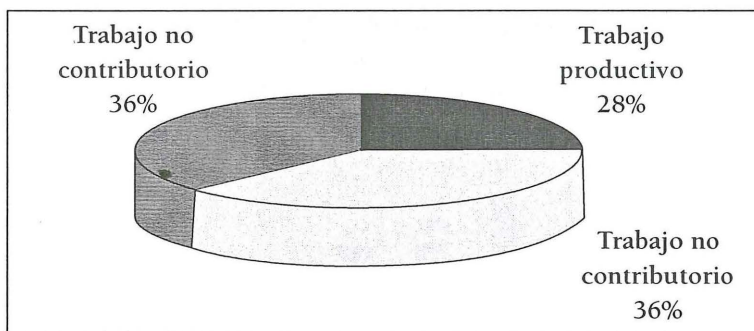
2.2. Resultados en la ocupación del tiempo

Los resultados obtenidos en las 50 obras analizadas se resumen en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Resultados generales de mediciones de ocupación del tiempo de 50 obras en Lima

	TP	TC	TNC
VALORES			
PROMEDIO LIMA	28%	36%	36%
MÍNIMO TP	20%	35%	45%
MÁXIMO TP	37%	36%	26%

Gráfico 2.1. Resultado de la ocupación del tiempo en 50 obras en Lima



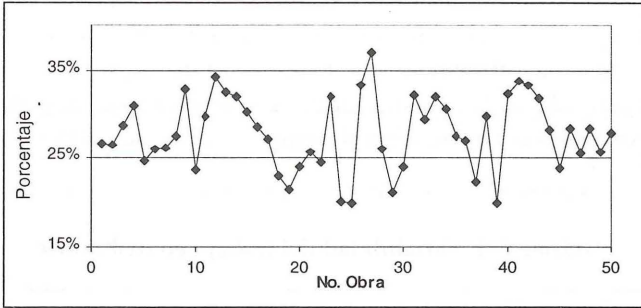
Los resultados de ocupación del tiempo en los cuales se ha detectado un trabajo productivo (TP) promedio del orden del 28% indican que del 100% del tiempo solo el 28% de la mano de obra

se dedica a labores productivas. Esto quiere decir que si se mejorase el sistema de gestión de la obra, manteniendo la capacidad de producción de las cuadrillas, se podría aumentar el porcentaje de tiempo ocupado por el TP, y, por ende, aumentar la producción total. Cabe mencionar también que en Chile la distribución de la ocupación del tiempo es como se muestra en la Tabla 2.5. Adicionalmente, de acuerdo con el trabajo del autor, se ha demostrado que en obras en donde se guarda una adecuada gestión de operaciones de construcción se logra valores de ocupación del tiempo como los mostrados más adelante en este capítulo.

Trabajo productivo

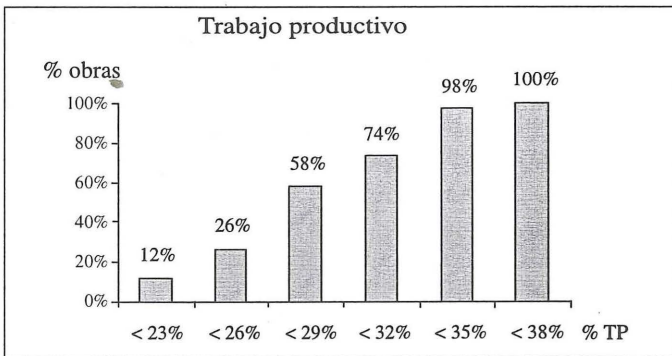
Los proyectos presentan un amplio rango de valores en los índices de productividad. Se va desde un trabajo productivo de 37% en la obra n.º 27, en la que se realiza trabajo repetitivo con la dificultad de disponer de poco espacio (lo que se salva con un adecuado diseño de procesos), hasta 20% en las obras n.º 24 (en la que no se presentaban mayores problemas por tratarse de un edificio multifamiliar típico), n.º 25 (que es un proyecto con actividades típicas que cuenta con múltiples ventajas) y n.º 39 (en el cual se tenían muchos factores que afectaban la productividad, pero que se podían controlar con una buena administración de las operaciones dada la disponibilidad de recursos).

Gráfico 2.2. Variabilidad del trabajo productivo



Como se puede observar en el siguiente cuadro, ninguno de los proyectos de la muestra logró el 38% de trabajo productivo obtenido como promedio en obras chilenas, según la investigación realizada entre los años 90 y 91, y un 74% de estos, obtienen valores de trabajo productivo menores que 32%, es decir, en el 74% de los proyectos que se ejecutan en Lima se utiliza menos de la tercera parte del tiempo para realizar labores netamente productivas.

Gráfico 2.3. Distribución de la muestra según trabajo productivo



Trabajo contributorio

En el siguiente cuadro se presenta el rango de valores encontrados para cada subcategoría de trabajo contributorio y el promedio alcanzado en la investigación; cabe señalar que los porcentajes mostrados corresponden al tiempo total de actividad.

Gráfico 2.4. Variabilidad del trabajo contributorio

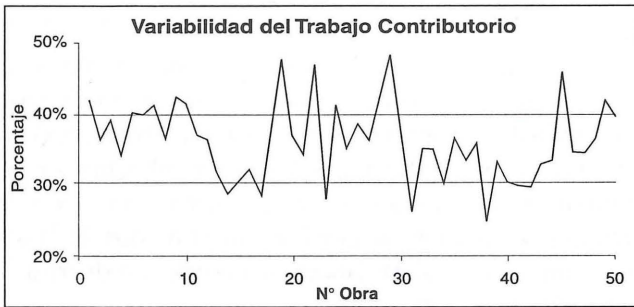


Tabla 2.5. Rangos en las subcategorías del trabajo contributorio

	T	L	I	M	X
Máximo	20%	9%	7%	11%	23%
Mínimo	6%	0%	1%	1%	3%
Promedio	14%	4%	3%	5%	11%

T: Transporte
M: Mediciones

L: Limpieza
X: Otros

I: Instrucciones

Trabajo no contributorio

El rango en el cual se presenta cada subcategoría se muestra en las siguientes tablas, junto con el promedio general; cabe señalar que los porcentajes mostrados corresponden al tiempo total de actividad.

Gráfico 2.5. Variabilidad del trabajo no contributorio

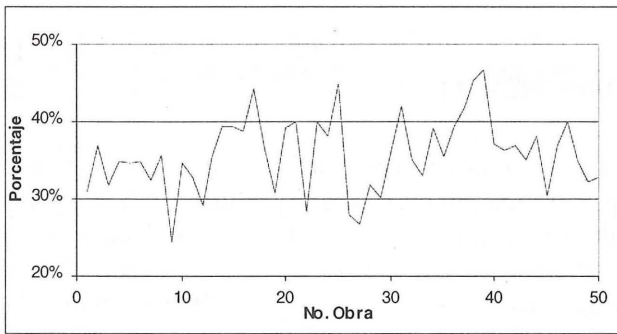


Tabla 2.6. Rangos en las subcategorías del trabajo no contributorio

	V	N	E	R	D	B	X
Máximo	26%	20%	15%	8%	9%	1%	6%
Mínimo	6%	4%	7%	0%	0%	0%	0%
Promedio	13%	10%	6%	2%	3%	0%	1%

N: Tiempo ocioso

E: Esperas

R: Trabajo rehecho

D: Descanso

X: Otros

B: Necesidades fisiológicas

Tabla 2.7. Distribución de la ocupación del tiempo en Chile

	TP	TC	TNC
VALORES PROMEDIO	47%	28%	25%

Tabla 2.8. Distribución de la ocupación del tiempo en obras con un manejo optimizado de la productividad

	TP	TC	TNC
VALORES PROMEDIO	60%	25%	15%

De acuerdo con los valores de la investigación podríamos concluir que en Chile, en promedio se produce 4.7 horas por cada 10 horas de trabajo, mientras que en Lima se produce solo 2.8 horas. Adicionalmente, una obra manejada con el estado del arte de la gestión de operaciones produce 6 de cada 10 horas trabajadas (considerando las tecnologías que utilizamos actualmente en el Perú).

Los proyectos estudiados en Lima, presentan una gran variación de valores en sus índices de productividad, como se muestra en las tablas mostradas arriba. El TP varía desde 37% en el mejor de los casos, hasta valores de 20%. El valor más alto medido en la investigación no llega al promedio de TP en Chile.

2.3. Niveles de productividad según el tipo de proyecto

Como se puede observar en la tabla 2.9, no existe entre los promedios de los índices de trabajo para cada tipo de proyecto, una diferencia tal que nos lleve a establecer una correlación entre el tipo de proyecto y la productividad. Esto se debe a que la clasificación está solo en función del monto de obra y el nivel de supervisión, sin tener en cuenta otras variables, como por ejemplo, el

grado de complejidad de la obra o el tipo de contrato (suma alzada, llave en mano, administración, etc.), lo que no permite realizar un análisis más profundo acerca de las causas que afectan la eficiencia de la administración. Sin embargo, de alguna forma deberíamos esperar que en proyectos más grandes, las empresas constructoras deberían realizar un esfuerzo mayor para lograr mejores productividades. Esto, en la práctica, no es cierto. *Es decir, el trabajo productivo en las obras en Lima no guarda relación con el tamaño de la obra en cuestión.*

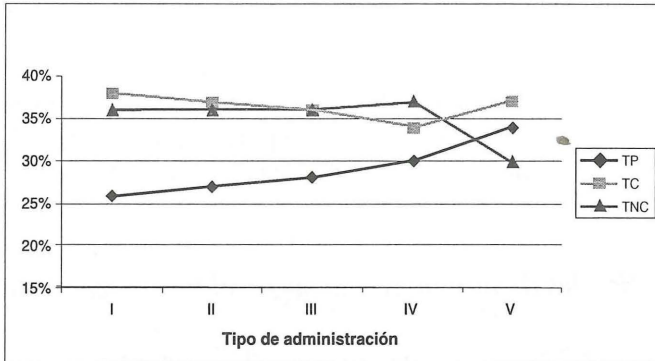
2.4. Niveles de productividad según el tipo de empresa

En la tabla 2.10, se presentan los resultados agrupados según el tipo de empresa que ejecuta cada proyecto. Como se puede observar al clasificar por obra, no existe entre los índices de trabajo obtenidos por tipo de empresa una diferencia tal que nos permita establecer una correlación entre tipo de empresa y la productividad obtenida, y esto a pesar de las marcadas diferencias que existen entre ellas en lo que se refiere a uso de tecnología, sistemas de control en obra, sistemas de seguridad y niveles de organización en obra. *No se ha encontrado una correlación entre el tipo de empresa y sus niveles productivos.* Esto debería llamar la atención ya que se espera que las empresas más grandes deberían tener un liderazgo en el tema de productividad. La investigación demuestra que no es así.

2.5. Niveles de productividad según el tipo de administración

De la misma manera, aplicando la clasificación por administración, obtenemos la tabla 2.11., en la que, a diferencia de las clasificaciones anteriores, es posible establecer una correlación importante entre el tipo de administración de obra y la productividad.

Gráfico 2.6. Productividad vs. tipo de administración



La diferencia entre los índices de trabajo obtenidos para cada tipo de administración muestran claramente, que existe una fuerte relación con el grado de productividad alcanzado por cada proyecto (como se puede ver en el gráfico 2.2.). Esto permite afirmar que el sistema de administración de obra empleado es un factor determinante en el nivel de productividad alcanzado en cada proyecto. Los resultados permiten concluir que las empresas que ejercen un mayor y mejor nivel profesional de planificación en obra obtienen los mayores niveles de productividad en la muestra.

Tabla 2.9. Niveles de productividad según el tipo de proyecto

	No.	TP	TC	TNC
PROYECTOS TIPO A	1	27%	42%	31%
	2	27%	36%	37%
	11	30%	37%	33%
	12	34%	37%	29%
	14	32%	29%	39%
	15	30%	30%	39%
	16	29%	33%	39%
	21	26%	34%	40%
	22	25%	47%	29%
	23	32%	28%	40%
	25	20%	35%	45%
	27	37%	36%	27%
	31	32%	26%	42%
	32	30%	35%	35%
	36	27%	34%	39%
	37	22%	36%	42%
	40	32%	30%	37%
43	32%	33%	35%	
PROM.	29%	34%	37%	
PROYECTOS TIPO B	3	29%	39%	32%
	5	25%	40%	35%
	6	26%	40%	35%
	7	26%	41%	32%
	9	33%	43%	25%
	10	24%	41%	35%
	20	24%	37%	39%
	24	20%	42%	38%
	26	33%	39%	28%
	34	31%	30%	39%
	39	20%	33%	47%
	41	34%	30%	36%
	42	33%	30%	37%
	45	24%	46%	30%
	46	28%	35%	37%
	49	26%	42%	32%
	50	28%	39%	33%
PROM.	27%	38%	35%	
PROYECTOS TIPO C	4	31%	34%	35%
	8	28%	37%	36%
	13	32%	32%	36%
	17	27%	28%	44%
	18	23%	40%	37%
	19	22%	48%	31%
	28	26%	42%	32%
	29	21%	49%	30%
	30	24%	40%	36%
	33	32%	35%	33%
	35	28%	37%	36%
	38	30%	25%	45%
	44	28%	33%	38%
	47	26%	34%	40%
48	28%	37%	35%	
PROM.	27%	37%	36%	

Tabla 2.10. Niveles de productividad según el tipo de empresa

	No.	TP	TC	TNC
PROYECTOS TIPO A	1	27%	42%	31%
	3	29%	39%	32%
	11	30%	37%	33%
	12	34%	37%	29%
	16	29%	33%	39%
	22	25%	47%	29%
	23	32%	28%	40%
	25	20%	35%	45%
	27	37%	36%	27%
	31	32%	26%	42%
	32	30%	35%	35%
	37	22%	36%	42%
	39	20%	33%	47%
	40	32%	30%	37%
	48	28%	37%	35%
	PROM.	28%	35%	36%
	PROYECTOS TIPO B	2	27%	36%
6		26%	40%	35%
10		24%	41%	35%
14		32%	29%	39%
15		30%	30%	39%
17		27%	28%	44%
20		24%	37%	39%
21		26%	34%	40%
36		27%	34%	39%
42		33%	30%	37%
43		32%	33%	35%
PROM.		28%	34%	39%
4		31%	34%	35%
5		25%	40%	35%
7		26%	41%	32%
8		28%	37%	36%
9		33%	43%	25%
13	32%	32%	36%	
18	23%	40%	37%	
19	22%	48%	31%	
24	20%	42%	38%	
PROYECTOS TIPO C	26	33%	39%	28%
	28	26%	42%	32%
	29	21%	49%	30%
	30	24%	40%	36%
	33	32%	35%	33%
	34	31%	30%	39%
	35	28%	37%	36%
	38	30%	25%	45%
	41	34%	30%	36%
	44	28%	33%	38%
	45	24%	46%	30%
	46	28%	35%	37%
	47	26%	34%	40%
49	26%	42%	32%	
50	28%	39%	33%	
PROM.	27%	38%	35%	

Tabla 2.11. Niveles de productividad por tipo de administración

	No.	TP	TC	TNC
	4	31%	34%	35%
	5	25%	40%	35%
	24	20%	42%	38%
	29	21%	49%	30%
	34	31%	30%	39%
	38	30%	25%	45%
	45	24%	46%	30%
	46	28%	35%	37%
	47	26%	34%	40%
	49	26%	42%	32%
	PROM.	26%	38%	36%
TIPO II	6	26%	40%	35%
	7	26%	41%	32%
	8	28%	37%	36%
	10	24%	41%	35%
	18	23%	40%	37%
	21	26%	34%	40%
	28	26%	42%	32%
	35	28%	37%	36%
	36	27%	34%	39%
	37	22%	36%	42%
	42	33%	30%	37%
	44	28%	33%	38%
	50	28%	39%	33%
	PROM.	27%	37%	37%
TIPO III	2	27%	36%	37%
	9	33%	43%	25%
	13	32%	32%	36%
	14	32%	29%	39%
	17	27%	28%	44%
	19	22%	48%	31%
	20	24%	37%	39%
	22	25%	47%	29%
	25	20%	35%	45%
	26	33%	39%	28%
	30	24%	40%	36%
	32	30%	35%	35%
	33	32%	35%	33%
	39	20%	33%	47%
	40	32%	30%	37%
41	34%	30%	36%	
43	32%	33%	35%	
	PROM.	28%	36%	36%
TIPO IV	1	27%	42%	31%
	3	29%	39%	32%
	15	30%	30%	39%
	16	29%	33%	39%
	23	32%	28%	40%
	31	32%	26%	42%
	48	28%	37%	35%
	PROM.	30%	33%	37%
TIPO V	11	30%	37%	33%
	12	34%	37%	29%
	27	37%	36%	27%
	PROM.	34%	37%	30%

2.6. Administración de nivel superior y administración de nivel inferior

Al definir cinco sistemas de administración, donde cada parámetro describe, en diferentes niveles de mejora, las características de los sistemas; podemos y creemos que es conveniente separar los sistemas de administración en dos grupos, dentro de los cuales prevalecen características similares.

De este modo, con los tres primeros sistemas se ha compuesto un grupo de administración de *nivel inferior*; similarmente se juntaron los últimos dos sistemas, denominando al grupo administración de *nivel superior*.

Administración de nivel superior

Los sistemas de administración que forman parte de este grupo son los sistemas IV y V.

El 20% de los proyectos analizados presentan este nivel de administración; de estos, el 90% corresponde a empresas tipo A, mientras que el 10% a empresas son de tipo B, lo que quiere decir que la planificación de nivel superior es característica de las empresas tipo A.

Las empresas tipo A generalmente administran proyectos de construcción complejos (proyectos que se van definiendo durante la construcción y que necesitan utilizar tecnología moderna para cumplir con los plazos establecidos por el propietario, mano de obra especializada, etc.); en estos se hace necesario tener una organización compleja que se traduce en un equipo permanente de trabajo. Sin embargo, es conveniente hacer notar que existen empresas tipo A que a pesar de tener un nivel avanzado de organización, de sistemas de control establecidos y mayor cantidad de profesionales en obra, llegan a presentar niveles de administración tan bajos como los sistemas de administración de empresas B y C.

En las empresas tipo A, el logro en mejores niveles de productividad se debe a la evolución que ha alcanzado su sistema de administración sobre la base de experiencia en proyectos anteriores; no obstante, esta mejora es limitada pues es difícil obtener índices de productividad más altos que los ya alcanzados con las herramientas que manejan. De no emplear las herramientas y la metodología adecuadas que posibiliten identificar las pérdidas ocultas en sus procesos de producción es poco probable que logren alcanzar índices de productividad elevados.

La Tabla 2.12. resume la información obtenida de las encuestas de aquellos proyectos que presentan este nivel de administración:

Tabla 2.12. Resumen de la información de encuestas según parámetros definidos - Administración de nivel superior

Responsable de la planificación	n.º de obras	porcentaje
Maestro de obra	0	0%
Ingeniero establece metas semanales	0	0%
Ingeniero establece metas diarias	0	0%
Ingeniero de planificación	10	100%
Actualización de la planificación		
Ninguna	0	0%
Verificaciones semanales	2	20%
Verificaciones diarias	3	30%
Reprogramación sin retroalimentación	2	20%
Reprogramación con retroalimentación	3	30%
Planificación operacional de recursos		
Ninguna	0	0%
Tareas	1	10%
Rendimientos mínimos	6	60%
Rendimientos optimizados	3	30%
Asignación de Recursos Planificada	0	0%
Diseño de procesos de construcción		
Ninguno	0	0%
Casos complicados	3	30%
Actividades representativas	7	70%
Transmisión de información		
<i>de ingeniero a maestro</i>		
Ninguna	0	0%
Oral	0	0%
Escrita	10	100%
<i>de maestro a obreros</i>		
Ninguna	0	0%
Oral	10	100%
Escrita	0	0%
Distribución de recursos		
Maestro de obra	0	0%
Maestro de obra con supervisión del ingeniero	3	30%
Maestro de obra e ingeniero	7	70%
Seguimiento y control		
Ninguno	0	0%
Avance	0	0%
Avance y costos	0	0%
Producción	10	100%
Seguridad en obra		
Ninguna	0	0%
Alguna	4	40%
Sistema	6	60%
Supervisión del propietario		
Ninguno	1	10%
Eventual	3	30%
Permanente	6	60%

En todos los proyectos del nivel superior la responsabilidad de planificar y controlar las actividades, actualizar el plan general y supervisar la distribución de los recursos, recae en un ingeniero de planificación. Este, basado en hitos o metas obtenidas del plan general de obra, elabora al inicio de cada semana planes semanales de actividades en los que se listan las actividades que deben ser realizadas diariamente.

En el parámetro de actualización de la planificación referido a la verificación y actualización de los planes, observamos que en el 50% de los casos se verifica el cumplimiento de las metas propuestas diaria o semanalmente, según sea el caso, y para la asignación de las nuevas metas se utiliza como marco de referencia la planificación general. En el otro 50%, el plan general se reprograma regularmente y se utiliza para establecer las metas de la semana siguiente. De este 50%, el 30% reprograma el plan general utilizando información real, propia del proyecto, obtenida durante su ejecución.

Para la planificación operacional de recursos (la mano de obra), el 60% de los casos emplea rendimientos mínimos que son los rendimientos estándares utilizados por la empresa, y el 30% emplea rendimientos optimizados, es decir, rendimientos mejorados durante el desarrollo del proyecto.

Para el diseño de los procesos de construcción, solo en el 30% de los proyectos se realizan actividades con alto grado de complejidad, mientras que el 70% diseña los procesos de las actividades más representativas, es decir, actividades con mayor porcentaje de incidencia dentro del presupuesto.

En todos los proyectos, la planificación de la obra es transmitida del ingeniero al maestro en forma escrita, detallando las actividades que se van a realizar durante la semana; mientras que el maestro transmite a los obreros la información traducida en órdenes de trabajo de forma oral.

En el 30% de los casos, la distribución de los recursos la realiza el maestro de obra de acuerdo con su experiencia y bajo la

supervisión del ingeniero; mientras que en el 70% restante, los recursos los distribuyen en forma conjunta el maestro de obra y el ingeniero.

Los sistemas de seguimiento y control utilizados en los proyectos, en todos los casos, consisten en informes de producción semanales o quincenales. En ellos se evalúa el desempeño de los rendimientos (HH/und.) de las partidas del presupuesto, que se traduce en beneficios económicos para la empresa.

Con respecto a la seguridad en obra, si bien en todos los proyectos los trabajadores tenían equipos de seguridad mínimo, solo en el 60% existía un sistema de prevención contra accidentes, donde se enseña a los trabajadores a reconocer y evitar los riesgos inherentes al trabajo que realizan.

Administración de nivel inferior

Los sistemas de administración que forman parte de este grupo son los sistemas I, II y III.

El 80% de los proyectos analizados presentan este nivel de administración; de estos, el 60% corresponde a empresas tipo C, el 25% a empresas tipo B y el 15% restante corresponde a empresas tipo A. Podemos afirmar que la administración de nivel inferior es característica de las empresas tipo B y C. Las empresas tipo A que forman parte de este grupo poseen un sistema de administración deficiente, que no les permite alcanzar niveles de planificación superiores. Esta deficiencia se ve reflejada en sus sistemas de planificación de operaciones, sus sistemas de seguimiento y control y la poca importancia que le dan al manejo de los recursos, principalmente a la mano de obra, bajo responsabilidad de los maestros de obra.

Las empresas tipo C se caracterizan por administrar proyectos generalmente poco complejos, proyectos de construcción pequeños y medianos, que manejan un volumen reducido de recursos (mano de obra, materiales y equipos) durante la ejecución de la obra. La ejecución y distribución de los trabajos y recursos está a cargo de un maestro general permanente y de un ingeniero o arquitecto eventual quien supervisa y controla el cumplimiento de las metas semanales.

Las empresas tipo B administran proyectos más complejos que las empresas tipo C; por este motivo se han visto obligadas a establecer sistemas de administración de obra y control de costos, tienen una organización en obra mejor estructurada y requieren de mayor tecnología en comparación con las empresas tipo C.

La tabla (2.13.) resume la información obtenida de las encuestas de aquellos proyectos que presentan este nivel de administración:

Tabla 2.13. Resumen de la información de encuestas según parámetros definidos - Administración de nivel inferior

Responsable de la planificación	n.º de obras	porcentaje
Maestro de obra	5	13%
Ingeniero establece metas semanales	17	43%
Ingeniero establece metas diarias	15	38%
Ingeniero de planificación	3	8%
Actualización de la planificación		
Ninguna	13	33%
Verificaciones semanales	25	63%
Verificaciones diarias	2	5%
Reprogramación sin retroalimentación	0	0%
Reprogramación con retroalimentación	0	0%
Planificación operacional de recursos		
Ninguna	10	25%
Tareas	20	50%
Rendimientos mínimos		923%
Rendimientos optimizados	1	3%
Asignación de Recursos Planificada	0	0%
Diseño de procesos de construcción		
Ninguno	18	45%
Casos complicados	22	55%
Actividades representativas	0	0%
Transmisión de información		
<i>de ingeniero a maestro</i>		
Ninguna	9	22%
Oral	28	70%
Escrita	3	8%
<i>de maestro a obreros</i>		
Ninguna	0	0%
Oral	40	100%
Escrita	0	0%
Distribución de recursos		
Maestro de obra	14	35%
Maestro de obra con supervisión del ingeniero	22	55%
Maestro de obra e ingeniero	4	10%
Seguimiento y control		
Ninguno	0	0%
Avance	7	18%
Avance y costos	26	65%
Producción	7	18%
Seguridad en obra		
Ninguna	26	65%
Alguna	10	25%
Sistema	4	10%
Supervisión del propietario		
Ninguno	17	43%
Eventual	17	43%
Permanente	6	15%

Observamos que en el 13% de los proyectos el responsable de la planificación es el maestro general, quien, con la asignación de los trabajos diarios y el volumen de recursos con que cuenta, determina el ritmo de avance de la obra; asimismo, recibe periódicamente la visita del propietario o del profesional responsable, quien controla el avance y coordina los requerimientos de la obra. En el 80% de los proyectos el ingeniero responsable, sobre la base de una planificación que es realizada y actualizada por él mismo o por la empresa constructora, determina metas semanales o diarias de producción. En la mayoría de los casos el ingeniero está permanente en la obra.

En lo referente a la actualización de la planificación, en el 63% de los proyectos se verifica, al final de cada semana, el cumplimiento de las metas propuestas; de la misma forma se establecen las metas para la siguiente semana. Solamente en el 4% de los casos este trabajo se realiza diariamente; en el resto no se realiza ningún tipo de verificación ni actualización de las metas propuestas.

En el 25% de los proyectos no se desarrolla ninguna planificación y la asignación de recursos se determina de acuerdo con las actividades factibles en el día. En el 50% la asignación de los recursos está relacionada con la capacidad de trabajo de los trabajadores y la experiencia de la persona responsable. Finalmente, en el 23% se utilizan rendimientos estándares empleados por la empresa, y solo en el 2% se recurre a rendimientos mejorados, obtenidos durante la ejecución del proyecto.

En cuanto a los procesos constructivos, en el 45% de ellos no existe un diseño preliminar y depende en gran medida de las decisiones que tome el capataz o el maestro para la ejecución de determinada actividad. Asimismo, los trabajadores realizan las actividades de acuerdo con el *conocimiento aprendido* y la habilidad que poseen; se dan casos en que se puede encontrar en la misma obra diferentes métodos para las mismas actividades. En el 55% restante, se diseñan procesos constructivos de actividades con alto grado de complejidad.

Las metas semanales o diarias (provenientes de una planificación semanal) son transmitidas al maestro en forma oral en el 70% de los casos, y sólo en un 8% se transmite en forma escrita. Luego son pasadas a los trabajadores de forma oral en todos los casos y traducidas en trabajos diarios.

La distribución de los recursos, en su totalidad, es realizada por el maestro general, pero, en el 55% de estos, el ingeniero responsable supervisa la asignación de los recursos.

Los sistemas de seguimiento y control, en el 18% de los proyectos, son sistemas informales, es decir, la evolución de la obra se cuantifica mediante observaciones *in situ* por parte del maestro general o por la persona responsable del proyecto en visitas ocasionales. Un 64% utiliza, además de las observaciones *in situ*, informes de costos, en los que se realiza una proyección del beneficio económico futuro; y solamente un 18% utiliza informes de producción.

Finalmente, en lo que respecta a la seguridad en obra, el 65% de los proyectos no considera importante la seguridad de los trabajadores, quienes carecen del equipo mínimo de seguridad (botas, cascos, cinturones de seguridad); y, de tenerlo, se encuentra en malas condiciones. Debido a ello, la seguridad es responsabilidad de cada trabajador.

2.7. Principales pérdidas en los procesos de producción

De acuerdo con las mediciones de terreno, se presentan algunos números promedio que representan a las principales pérdidas detectadas en las 50 obras analizadas en Lima. Estos valores nos dan una dirección hacia dónde apuntar y en dónde concentrar nuestros esfuerzos para eliminar pérdidas.

TRABAJOS NO CONTRIBUTORIOS

a) Viajes (13%)

Causas más frecuentes:

- Cuadrillas sobredimensionadas
- Falta de supervisión
- Deficiencias en el flujo de materiales
- Mala distribución de instalaciones en obra

b) Tiempo ocioso (10%)

Causas más frecuentes:

- Falta de supervisión
- Cuadrillas sobredimensionadas
- Actitud del trabajador

c) Esperas (6%)

Causas más frecuentes:

- Cuadrillas sobredimensionadas
- Falta de campo
- Deficiencias en el flujo de materiales

d) Trabajo rehecho (3%)

Causas más frecuentes:

- Mala calidad
- Trabajos mal ejecutados
- Deterioros de trabajos ya realizados
- Cambios en los diseños

TRABAJOS CONTRIBUTORIOS

a) Transporte manual (14%)

Causas más frecuentes:

- Deficiencias en el flujo de materiales
- Falta de programación y control del uso de equipos

b) Otros (11%)

Causas más frecuentes:

- Dado que estos trabajos forman parte de los procesos constructivos, un alto porcentaje puede deberse a las siguientes causas:
 - Trabajos lentos
 - Falta de diseño de los procesos constructivos

c) Mediciones (5%)

Causas más frecuentes:

- Por lo general, en las actividades de encofrado y colocación de acero, cuando el material o las piezas a ser ensambladas no están organizadas o se encuentran en desorden, se propicia el *retaceo* de las piezas para completar cierto elemento o la continua búsqueda de aquellas que se adapten a las medidas de la pieza faltante; así se incrementa el número de mediciones para la ejecución de las actividades.
- El incremento de mediciones también se presenta cuando se efectúan actividades como albañilería y tarrajeos, las cuales urgen de mediciones frecuentes para su correcta ejecución.

d) Aseo o limpieza (4%)

Causas más frecuentes:

- La falta de cuadrillas especializadas en tareas de limpieza genera que las cuadrillas deban destinar a uno ó más de sus integrantes para su ejecución.
- Debido a que tales actividades no corresponden a las cuadrillas regulares, la limpieza y el orden del lugar de trabajo origina en muchos casos la aparición de cuadrillas dedicadas a labores de limpieza.
- La mala distribución del personal en obra, junto a una mala planificación, origina que el personal sin actividades fijas para el día ocupe su tiempo en la limpieza, sin importar su rango.

- Las actividades de picado y retaceo producen gran cantidad de escombros y desperdicios, la que incrementa los trabajos de limpieza no solo por propósitos higiénicos sino para evitar además problemas de seguridad y accesibilidad.
- No se definen vías de tránsito fijas para el personal, hacia los distintos frentes de trabajo, y se provoca el desplazamiento de éste por distintos lugares, dificultando las labores de mantenimiento en la obra.

e) Instrucciones (3%)

Causas más frecuentes:

- La información que llega al personal obrero es deficiente, provocando que estos soliciten continuamente aclaraciones sobre la misma para poder realizar su trabajo.
- El desconocimiento de las actividades para realizar durante el día por parte de las cuadrillas trae consigo la búsqueda de instrucciones cada vez que se cambia el frente de trabajo.

2.8. Descripción de las principales causas de pérdidas

A continuación se describen las causas de las pérdidas antes descritas, enfocándolas bajo la forma en que se manifiestan dentro de los procesos constructivos, según lo observado en la investigación de campo.

Cuadrillas sobredimensionadas

- El exceso de personal en áreas de trabajo reducidas, siendo necesario que una parte de la cuadrilla avance para que el resto de ella pueda iniciar su trabajo.
- El exceso de personal obrero en el proyecto, para el cual no existen frentes de trabajo disponibles permanentemente hace que, para mantenerlo ocupado, se ordene auxiliar a otras cuadrillas o realizar labores de apoyo en obra tales como limpieza. Se origina así la aparición de cuadrillas con exceso de personal.

- El no tener una idea clara de las instrucciones ni del material necesario origina que se tenga dentro de cada cuadrilla personal dedicado a solucionar este tipo de problemas y, por lo tanto, cuadrillas con mayor personal del necesario para la producción.

Falta de supervisión

- Cuando el profesional de obra o el personal responsable del control de la producción no realiza esta función de manera eficaz, se pueden generar intervalos de inactividad, lo que se acentúa cuando se dispone de holgura en el tiempo de ejecución o cuando no se responsabiliza al personal por el cumplimiento de los trabajos asignados.
- La falta de supervisión sobre la ejecución de las actividades y sobre el uso de los materiales, principalmente cuando se subcontrata la mano de obra, puede ocasionar un exceso de desperdicios, además de malas prácticas en la producción para cumplir con los avances exigidos.

Deficiencias en el flujo de materiales

- El poco personal de apoyo para el abastecimiento de materiales, o la mala organización de éste, provoca que los operarios deban abandonar sus tareas para ir en busca de sus materiales, lo que les ocupa buena parte de su tiempo.
- La mala distribución de las zonas de abastecimiento origina el transporte manual de materiales a distancias excesivamente largas o entre pisos consecutivos.
- El material que no ha sido dejado en la zona de abastecimiento definitiva ocasiona movimientos extras de personal cuando éste llega.
- La mala utilización de los equipos de transporte por falta de planificación ocasiona pérdidas por la subutilización de los

mismos, esperas por la necesidad de su uso en ciertas actividades y exceso del empleo de mano de obra en actividades de abastecimiento por falta de disponibilidad de los equipos.

- Un mal abastecimiento por parte de los proveedores, puede traer consigo grandes dificultades en el desarrollo de los procesos; en este punto radica la importancia de tener un buen sistema de administración de recursos en cada proyecto.

Mala distribución de instalaciones en obra

- Las vías de acceso obstaculizadas, que dificultan el transporte.
- Los largos tramos por recorrer hacia las zonas de almacenamiento de los materiales, o hacia los lugares de acumulación de escombros.
- El desplazamiento innecesario del personal, provocado por el desorden de materiales y herramientas que estos requieren para realizar sus funciones.
- Los servicios higiénicos mal ubicados, pues generalmente estos se encuentran en los primeros pisos.

Actitud del trabajador

- En algunas ocasiones los trabajadores interrumpen sus tareas y las de otros trabajadores por motivos no justificados.
- Los trabajadores rara vez realizan un mayor avance del que se les exige, *ya* sea porque sienten que no se premia su esfuerzo, o porque se sienten cómodos con el tiempo asignado a sus tareas, o porque creen que su mayor avance se convertiría luego en la nueva meta que les impondría la empresa.
- Los trabajadores muchas veces tienden a *inventar trabajo*, con la finalidad de *hacer tiempo*, sobre todo en las horas previas al almuerzo o a la salida.

Falta de manejo de campo

- La mala coordinación entre cuadrillas interdependientes.
- Los problemas de rendimientos dispares.
- La omisión de actividades previas al ingreso de otras cuadrillas.

Mala calidad

- La poca capacitación de la mano de obra.
- La falta de supervisión durante la ejecución de los trabajos.
- Las deficiencias propias de los procedimientos constructivos tradicionales y de la falta de tecnología
- La información incompleta o no detallada.

Deterioros de trabajos ya realizados

- La falta de coordinación entre actividades.

Cambios en los diseños

- La falta de compatibilización entre planos.
- Los proyectos no definidos en su totalidad.

Falta de programación y control en el uso de equipos

- La carencia de una programación adecuada para los equipos de transporte en obra ocasiona que se limiten a apoyar las actividades de mayor prioridad, mientras que en el resto los trabajadores se ven obligados a realizar manualmente el transporte de materiales.
- El mantenimiento de los equipos se realiza recién cuando estos empiezan a fallar y, por consiguiente, cuando se ven forzados a realizar el trabajo manualmente o a recargar sus funciones a otros equipos.

- La carencia del equipo necesario produce atrasos en el avance de obra, puesto que se llega a utilizar excesiva mano de obra para reemplazar su función.
- El empleo de la grúa para transportes horizontales, mientras en otros frentes el personal realiza transportes verticales de material.
- El uso de los equipos para labores ajenas a la construcción, como el transporte de alimentos.

Trabajos lentos

- El excesivo manipuleo de los materiales, herramientas y equipos antes de su utilización.
- Las demoras provocadas por los mismos trabajadores que, aun cuando se mantienen ocupados, no realizan trabajos importantes dentro del proceso.

Falta de diseño de los procesos constructivos

- El uso de procedimientos constructivos tradicionales, faltos de diseño, agudiza el incremento de trabajos contributorios, por lo mismo que dan una mayor holgura de tiempo a las labores, y permiten un rendimiento engañoso a partir de trabajos lentos.

Una vez identificadas las pérdidas y sus fuentes en los procesos de producción del proyecto, estamos en la capacidad de afirmar que la mayoría de las fuentes de pérdidas son responsabilidad directa de los sistemas de administración de la producción. Por ende, los esfuerzos de la administración deben orientarse principalmente a la reducción de estos trabajos no productivos, y a controlar sus fuentes, mediante la realización de mejoras en su-

pervisión, sistemas de producción, sistemas de información, planificación, etc. Además, se hace necesaria la evaluación de los cambios en la distribución del trabajo por medio de mediciones de los niveles de productividad del proyecto.

2.9. Conclusiones del diagnóstico

La investigación que dio origen a las tesis mencionadas antes y al capítulo aquí presentado permite ofrecer las siguientes conclusiones:

- El trabajo productivo en obras de construcción en Lima es solo del orden del 28%. Este valor está muy por debajo de los estándares internacionales y de los valores óptimos que se obtienen al aplicar sistemas consistentes de aumento de la productividad.
- Ninguna obra en Lima supera la barrera del 38% de TP.
- En promedio, el 27% de tiempo del trabajo de los obreros de construcción se dedica a transportes y viajes. Es decir, gastamos lo mismo en labores netamente productivas que en desplazarnos en la obra.
- Individualmente, se gasta más tiempo en trabajos no contributorios (36%) y contributorios (36%) que en labores productivas.
- En Lima, el tamaño de la obra no guarda relación con los niveles productivos de las obras.
- En Lima, el tipo de empresa no guarda relación con los niveles productivos de las obras que manejan.
- El tipo de administración de cada obra, mayormente relacionado con el profesional que maneja la obra y no así a la empresa para la que trabaja, guarda una estricta relación con los niveles productivos de dichas obras.
- El 20% de las obras analizadas muestra un nivel de lo que hemos definido como administración superior. El 80% muestra un sistema de administración inferior, lo cual se ve reflejado directamente en los niveles promedio de trabajo productivo.

Adicionalmente, podemos concluir que, si bien los niveles productivos de nuestras obras de construcción a finales del siglo XX son bajos, más que una desventaja es una gran oportunidad para nuestro país para asumir los retos que nos tocan y seguir avanzando en la senda de desarrollo sostenido que todos esperamos para el siglo XXI. Cabe mencionar, también, que actualmente varias empresas nacionales han asumido este reto y hoy en día se encuentran comprometidas con serios procesos de cambio, con grandes posibilidades de éxito.

2.10. Consultoría y diagnóstico (qué fácil es diagnosticar y qué difícil cambiar)

Este capítulo está basado en el diagnóstico de la situación de la productividad en Lima a través de la investigación de campo conducida en las tesis antes mencionadas. Al iniciar cualquier proceso de cambio, es importante llevar a cabo un diagnóstico que enmarque el problema y que detecte cuáles son las áreas en las cuales es más rentable trabajar para lograr los máximos beneficios mediante la optimización de la productividad. Por otra parte, la mayor parte de los estudios y trabajos en las áreas de optimización llegan solo hasta el diagnóstico del problema sin lograr entrar de lleno en la implementación misma de los cambios.

Para poder obtener los resultados deseados es indispensable superar la etapa de diagnóstico e implementar efectivamente los cambios. Esto último es definitivamente más complejo y requiere de mucha fuerza, conocimiento y perseverancia. El lector debe tener claro que los cambios no son fáciles, pese a que la teoría pueda serlo.

Los siguientes capítulos se concentran en (a) el análisis del problema; (b) la política de implementación del sistema de aumento de la productividad. El sistema que se presenta en este libro apunta a la implementación efectiva de los conceptos de

productividad y la obtención de resultados inmediatos. La forma en que se presenta *el sistema* va de la mano con la forma en que se debe implementar en terreno. El lector debe poder usar este libro como una guía práctica de implementación de terreno en los *sistemas de aumento de la productividad* que propone el autor.

3. CRÍTICA

En este capítulo se discuten algunos conceptos y creencias populares con respecto a una serie de temas. El autor considera que su comprensión es fundamental para el manejo adecuado de la productividad y la eficiencia. Aquí se vierten las opiniones del autor, basadas en su experiencia en terreno y en la aplicación práctica de estos temas. Cada sección toca puntos diferentes y en muchos casos aparentemente inconexos. Sin embargo, el mal entendimiento de los mismos puede llevarnos como industria hacia malentendidos o en el mejor de los casos hacia caminos mucho más largos para obtener el desarrollo que la industria y nuestro país necesitan.

3.1. *¿Dónde está la competencia?*

Como empresas constructoras solemos evaluarnos respecto de nuestra competencia. Es usual que asumamos que nuestra competencia son las otras empresas constructoras del medio. En principio, esto es cierto aunque solo parcialmente. En el Perú de finales de los años 90 y principios del 2,000, nuestra mayor competencia no es realmente el resto de las empresas constructoras.

Nuestra mayor competencia en realidad se concentra en las leyes inadecuadas, la falta de formalidad de las empresas en el rubro, la

falta de consenso y visión de futuro de nuestro gremio, entre otras trabas. En una situación de crisis (como la que se vive a principios del milenio), siempre existen caminos opuestos que buscan aumentar la competitividad de nuestras empresas. El camino de la informalidad, sin embargo, nos hace más pobres y menos competitivos en términos reales.

Nuestra lucha debe centrarse, entonces, en la búsqueda de sistemas que nos brinden mejores estándares de productividad mediante un manejo más profesional de nuestras actividades. Por otra parte, si lo que buscamos es ser más competitivos, debemos combatir para que las leyes del gobierno se ajusten a las necesidades y posibilidades reales de nuestro país y hacia la búsqueda de condiciones de competencia equitativas para todos. De otra forma, la crisis nos hará retroceder nuevamente al estado de baja competitividad del cual estamos tratando de salir desde los inicios de la década de los años 90, como se discute más adelante.

Otra fuente de competencia es la creciente presencia de empresas constructoras extranjeras en nuestro medio. Si bien estamos abiertos a la competencia, lo cierto es que debiéramos enfrentar a esta de forma profesional logrando coexistir con ella y competir de igual a igual a través del manejo eficiente de nuestras empresas logrando los más altos niveles productivos en el ámbito mundial.

3.2. Efecto de la crisis del final de los años 80 y 90

La fuente de competitividad de las empresas constructoras en el Perú ha sufrido una serie de impactos frontales y cambios de rumbo a través de los años. No es difícil apreciar que en los años 80, bajo condiciones de mercado diferentes, era mucho más rentable invertir en ser más competitivos a través del manejo de contactos, manejo del cambio del dólar, etc. Esto generó un severo deterioro en el nivel competitivo real de nuestras empresas al enfrentarnos luego a condiciones de mercado abiertas. Lo cierto es que en los

años 90 se ha perfilado otro esquema de competencia. Muchas empresas constructoras no pudieron ajustarse a las nuevas condiciones de mercado y han sucumbido. Otras han emprendido un viaje hacia la búsqueda de mayor eficiencia con diferentes niveles de profundización y con diferentes resultados a la fecha.

Sin embargo, a finales de los años 90, nos vuelve a golpear otra crisis externa que una vez más va generando cambios en la competitividad de nuestras empresas. Las crisis son beneficiosas en cierto modo ya que depuran el mercado. Sin embargo, cuando son demasiado prolongadas, el deterioro se generaliza. A inicios del año 2,000, volvemos a la disyuntiva de enfrentar la competencia con mayor productividad y eficiencia o, si este esfuerzo no valiera la pena, buscar formas informales de aumentar nuestra competitividad.

Consideramos que nos debemos preguntar hacia dónde queremos ir como industria y como país. No debemos perder de vista el horizonte de largo plazo y mantener el optimismo en remontar la crisis en un tiempo prudencial. La desviación parcial o total hacia la informalidad como herramienta para capear la crisis, solo nos causará más problemas en los años por venir.

3.3. Destajo, subcontratos de mano de obra y otras formas de liberarse del riesgo: pros y contras

Una forma muy frecuente de enfrentar la competencia y de aumentar la productividad es a través del uso de subcontratos. Esta práctica se justifica sobre la base de la experiencia de muchas industrias (i.e., la industria de fabricación de turbinas para aviones), en la que se opta por un especialista para la fabricación de cada parte mayor; de esta forma cada uno de estos brinda su mayor experiencia y eficiencia en la fabricación del elemento que se integra al conjunto. Esto podría aplicarse también a la construcción pues, al comparar mediciones de eficiencia en el uso de re-

cursos (mano de obra) entre el contratista general y el subcontratista, se suele observar que el subcontratista es más eficiente.

Por otra parte, sin embargo, algunas industrias usan el subcontrato de mano de obra para esquivar el pago de leyes sociales y otros tributos, o como una forma de reducir los jornales estándares de construcción civil y descuidan intencionalmente la forma en que el subcontratista paga sus jornales. No es poco común observar que algunas empresas basan su búsqueda de eficiencia y competitividad en dichas prácticas.

Adicionalmente, en el aspecto de la productividad, el uso de los subcontratos tiene una serie de aspectos negativos. En principio, la construcción está compuesta (a diferencia de otras industrias más sofisticadas) de actividades relativamente sencillas (colocar ladrillo, vaciar concreto, colocar encofrado, etc.). Pese a que es virtualmente imposible que una empresa constructora sea especialista en todo, es también inconcebible que tenga que delegar todas sus actividades a subcontratos que sean más eficientes que ella. Esto significaría que si no podemos ser competitivos en actividades tan simples y primarias como colocar ladrillo o vaciar concreto, posiblemente deberíamos buscar otra actividad en la cual sí podamos competir.

El subcontratista, por su parte, busca su propia eficiencia y no necesariamente la eficiencia de la obra en su conjunto. Por ejemplo, tenemos un excelente subcontratista de habilitado y colocación de fierro, quien obtiene constantemente 0.04 HH/KG. Sin embargo, para obtener este promedio trabaja bajo su propia secuencia, despreciando la secuencia general de obra que optimiza el conjunto. El bajo consumo de horas hombre en fierro se traducirá en un mayor consumo de horas hombre en las actividades precedentes y las que le siguen. Por lo tanto, el ahorro puntual en la actividad fierro se convertirá en una fuente de ineficiencia y pérdidas en el resto de las actividades. La eficiencia de una obra no se da a través de la búsqueda de eficiencias parciales sino a

través del manejo profesional de la gestión de operaciones en su conjunto. El uso inadecuado de los subcontratos redundaría en una menor eficiencia de nuestras empresas.

En resumen, el abuso de la subcontratación reduce la eficiencia a largo plazo de las empresas constructoras y el *know how* pasa a los subcontratistas, los cuales irán asumiendo porciones mayores del negocio con el paso del tiempo. La subcontratación, además, reduce la posibilidad de la empresa constructora en optimizar sus procesos en el tiempo y, por ende, produce una reducción de la competitividad de la empresa. Cabe preguntarse: si una empresa constructora opta por subcontratar la mayor parte de sus actividades, ¿qué le impide a las empresas de la competencia subcontratar a los mismos a igual precio? En ese caso, ¿cuál sería la ventaja competitiva que marcaría la diferencia entre dos empresas constructoras?

3.4. «Produzco poco porque no me pagan lo que merezco»: la mediocridad en la producción y la mística del trabajo en la empresa privada

Nos llama la atención la actitud de estudiantes y profesionales que, a pesar de haber tenido la oportunidad de acceder a una educación superior, escatiman esfuerzos para lograr un alto nivel de preparación e idoneidad. No existen los empresarios que hayan conseguido el éxito y la satisfacción personal sin haber trabajado duramente y dedicado mucho de su tiempo para conseguirlos. Es desalentador preparar a una juventud que solo piense en el usufructo del esfuerzo de sus predecesores. Necesitamos líderes, innovadores y creadores, modelos a seguir para la consecución del desarrollo de nuestras familias y la sociedad.

Debemos reconocer que somos un país en desarrollo y recordar que, cuando emprendemos un negocio, vamos participar en desventaja y, por supuesto, tal circunstancia requerirá un esfuer-

zo adicional considerable. Si no contribuimos con el despliegue de lo mejor nuestras capacidades —lo que significa, alta preparación, muchas horas de esfuerzo y trabajo, fuerza, empuje, paciencia, etc.—, nuestras posibilidades de éxito se reducirán en dramáticas proporciones. Sin caer en anacronismos, invocamos a los graduados a entregar su mayor esfuerzo para beneficio propio que aunque parezca egoísta, significará a la larga mejores réditos para su entorno. Un esfuerzo mediocre solo conseguirá una mayor pobreza para repartirse entre muchos. La medianía en algunos profesionales se excusa parcialmente por los bajos salarios que perciben, a los que responden ilógicamente con trabajo menguado y malo, actitud del todo injustificada.

El sentido del deber

En los Estados Unidos, mientras mi socio estudiaba su postgrado, recibió una serie de charlas de profesionales de éxito que habían estudiado en la Universidad de Purdue. El común denominador de estas charlas, fuera del éxito profesional de dichas personas, era el concepto de haber *cumplido con el deber* hacia su país. Todos estos profesionales habían logrado puestos importantes dentro de sus compañías así como grandes ingresos económicos personales, pero también parte de ese esfuerzo lo habían dedicado en contribuir con el desarrollo de su país. Algunos habían actuado como asesores del gobierno, otros dentro de sus gremios, otros publicando libros o artículos de opinión, etc.

Todos habían influenciado de un modo u otro al desarrollo de su industria así como al engrandecimiento de su país.

Cuando se habla de cambio mucha gente piensa primero en el gobierno o en todo caso en lo que le tocaría hacer a los demás menos a ellos mismos. No olvidemos que el cambio empieza en nuestros escritorios, en nuestros puestos de trabajo, al asumir íntimamente nuestros compromisos. En el campo de la productivi-

dad en las obras de construcción el cambio puede y debe empezar ahora.

La intención de este libro ha sido brindar pautas de éxito ya comprobado para lograr que estos cambios se materialicen en nuestro país y que logremos elevar fácilmente ese escaso promedio productivo del 28% del TP a niveles mínimos de un 45%. Como mencionamos esto podría aplicarse de inmediato, mientras el lector sigue estas líneas. Como primer paso práctico, la técnica se centra en reducir lo que definimos luego como *grasa superficial* y que más adelante desarrollaremos.

Empecemos por los que nos toca hoy

Durante un viaje a provincia, tuvimos la oportunidad de trabajar con un funcionario de un banco de consumo local. Al conversar respecto de las posibilidades de cambio en nuestro país, el autor le pidió su opinión sobre qué pensaba que se debería hacer para cambiar al Perú. Se esperaba la consabida respuesta: «salud, trabajo, educación». Sin embargo, el funcionario comentó que si de él dependiera, empezaría cambiando la forma en que los cajeros trataban a sus clientes. La respuesta, aunque simple, muestra un enfoque con los pies en la tierra y de aplicación práctica e inmediata. La mayor parte de nuestros profesionales, sin embargo, se pasa la vida pensando en que alguna fuerza superior va a resolver milagrosamente los problemas de nuestra industria, de nuestro país e incluso del mundo. Las mejoras en el área específica de productividad y en general en cualquier tipo de mejoramiento dentro de las empresas podría empezar hoy, desde nuestro puesto de trabajo, desde nuestras funciones específicas, si es que así lo quisiésemos. La intención de cambio debe partir de cada uno de nosotros. Los profesionales del Perú tenemos una tremenda responsabilidad entre manos, sin ella no despegaremos en nuestro camino para alcanzar el desarrollo.

3.5. Crítica a los programas universitarios de Ingeniería Civil y al tipo de entrenamiento que se les da a los alumnos

En la mayoría de los países del mundo, particularmente en los más desarrollados y en aquellos que han mostrado una tendencia al desarrollo sostenido, la universidad es la fuente generadora de la mayor parte de la investigación, del desarrollo de nuevos productos y de los sistemas de gestión. Punta de lanza, motor y guía en el desarrollo científico de una nación y el nexo natural con todas las empresas. En nuestro país estamos muy lejos de alcanzar dichos logros y, aunque en los últimos años se han hecho intentos de revoluciones en muchas áreas, en el campo de la Ingeniería Civil y específicamente en la Construcción aún se sigue una metodología anticuada. Se prepara a estos profesionales con algunos conceptos casi elementales y a veces obsoletos, y se espera que aprendan a construir solamente sobre la base de la experiencia.

Ofrecer programas adecuados para los alumnos de Ingeniería Civil significa reconocer que un alto porcentaje de los egresados van a trabajar en la construcción de edificaciones, caminos u obras civiles e industriales de todo tipo (se dice que compromete a un 95% de estos profesionales) y se olvida que la actividad de estos es diferente a la de los ingenieros estructurales y, por consiguiente, necesitan una preparación diferente. Es imperativo que el ingeniero de construcción reciba un conocimiento básico común respecto a las otras especialidades de la Ingeniería Civil, pero que también reciba una educación especializada en el área en la cual va a trabajar. La razón que en nuestro país el nivel de TP sea del orden del 28%, como mencionamos, responde en gran medida al desconocimiento generalizado de la filosofía y de las herramientas de gestión de producción en la construcción, ampliamente en boga en otros países.

No quisiéramos aventurarnos a mencionar qué cursos y tópicos deberían ser cubiertos en el campo de la construcción, a pesar

de tener opiniones definidas al respecto. Más bien sugerimos la realización de encuestas respecto de las aptitudes y conocimientos que los empresarios del sector buscan en los profesionales que contratan. Deberían realizarse regularmente para lograr un adecuado seguimiento de los procesos de cambio, hoy tan frecuentes y dinámicos, además de, por supuesto, permitir que los programas de enseñanza mantengan su vigencia a la vanguardia de la evolución de la industria. Si la universidad no modifica sus sistemas de raíz y se enfrenta racionalmente al pasado, habrá perdido su razón de existir y las consecuencias para nuestro futuro serán irreparables a corto plazo.

Se ha hablado mucho de *liderazgo* y otras definiciones ya bastante trajinadas, pero no debemos perder de vista que, efectivamente, necesitamos profesionales entrenados no solo en resolver *prácticas pasadas*, sino con la capacidad y seguridad para resolver cualquier problema que aparezca en el futuro. La formación de un ingeniero es quizás lo más obsoleto en nuestras universidades, mucho más que la currícula en sí, por lo que es casi una emergencia que en los siguientes años mejoremos sustancialmente nuestros estándares de enseñanza en ingeniería civil.

En conclusión, necesitamos tomar medidas de emergencia para que en el plazo más corto podamos elevar nuestros pobres estándares a niveles competitivos internacionales. Lograr tales metas significa una gran cuota de preparación y sacrificio para formar a los líderes que necesitaremos en todos los campos de la producción, líderes que unan creatividad, energía, amor al trabajo y a su país, preparados para poder enfrentar con solvencia las dificultades inherentes a toda política de cambio. No se consigue desarrollo exclusivamente con dinero y la universidad debería aplicar una profunda *reingeniería* a sus programas con el propósito de garantizar semejante formación.

3.6. Políticas de gerencia basadas principalmente en el control de costos: ahorrar el centavo negociando vs. optimización y enfoque en eficiencia del conjunto

Las técnicas de gerencia de empresas así como las de gestión de proyectos y procesos han avanzado substancialmente en los últimos años y brindan herramientas muy poderosas que permiten lograr resultados susceptibles de cuantificación.

Hace unos años, la gerencia centraba su esfuerzo principalmente en la experiencia, el *sentimiento*, el olfato, o como se le quiera llamar a la toma de decisiones que no está apoyada de forma concreta en herramientas específicamente diseñadas para ello. La experiencia y otros elementos de decisión no han perdido su importancia. Es solo que ahora podemos alimentar nuestro criterio con datos numéricos, los cuales van mejorando el porcentaje de aciertos de forma significativa. Si bien en los últimos 10 años se ha promovido de forma personal e institucional la profesionalización de nuestras gerencias (a través de preferencia en las contrataciones de profesionales de postgrado), en el ámbito del país todavía estamos muy lejos de las metas necesarias para generar un cambio en nuestra sociedad.

En el caso específico de la construcción, el nivel de profesionalización de nuestras gerencias en general es bajo. Así, los responsables directos de los bajos niveles productivos en obras de construcción son los gerentes de las empresas, proyectos y obras. El primer paso dentro del cambio es el aceptar que podemos hacer las cosas mejor, que existen herramientas que no conocemos que nos pueden ayudar a lograr el cambio. Además, debemos tener la fuerza y el empuje para aplicar dichas herramientas sin cejar hasta generar los cambios que necesitamos.

En nuestras empresas es frecuente que los gerentes basen su gestión en *empujar* todo lo que se pueda. Lo anterior, si bien logra

ciertos resultados, tiene un bajo componente técnico y profesional. Además, empujar tiene un límite físico bajo. Los sistemas que se sustentan en *empujar* van acompañados en casi todos los casos por sistemas de control que buscan *ahorrar el centavo negociando*. La carencia de herramientas de gestión hace que en muchos casos los gerentes centren su trabajo en sistemas que se limitan a controlar que se compre individualmente al más bajo precio posible, aún cuando esto implique que el costo total del conjunto sea mayor finalmente. De aquí se desprenden varios puntos de discusión. Primero, hemos descubierto con sorpresa que el precio en que una empresa mediana/chica compra sus materiales y servicios de subcontratos es igual (e incluso en algunos casos menor) que el precio en que los compra una empresa grande. El hecho de que una empresa grande compre volúmenes mucho mayores no redundará en reducciones de precios, lo cual de alguna manera demuestra que la negociación de precios tiene un límite bastante cercano. Por lo tanto, se puede concluir que la gestión por control de costos es una buena práctica y solo eso. Este tipo de gestión no nos da una ventaja competitiva real, ya que la mayor parte de las empresas usa técnicas como estas, con similares resultados. Este comportamiento se da ya que en gran medida no se requiere mayor ciencia ni preparación para negociar precios en las compras. El problema en nuestro país es que muy pocos gerentes trascienden de este nivel de gestión y dejan de lado una serie de funciones que pueden generar beneficios mayores que los obtenidos únicamente de la negociación de precios.

La segunda observación es que la gestión por control de costos genera que se pierda de vista la visión general del negocio, suboptimizando una serie de aspectos por *ahorrar el centavo* en unos cuantos ítems.

¿Hacia dónde apuntar nuestro esfuerzo de optimización?

En uno de los proyectos de construcción donde participó nuestra empresa constructora se compitió y se ganó una licitación

privada ofreciendo el menor precio y el menor plazo de ejecución. El proyecto se manejó por administración y con un incentivo para la constructora si lograba un ahorro adicional sobre el presupuesto ganador. El proyecto se ejecutó con los más altos niveles productivos y se lograron resultados económicos finales óptimos. La empresa constructora pudo generar ahorros sobre el presupuesto del orden del 20% y, consecuentemente, el dueño ahorró el 20% del costo del proyecto. Sin embargo, al realizar su gestión por control de costos se rechazaron una factura por dos llamadas telefónicas y dos pasajes de taxi; ambos por gastos efectuados en la ejecución de esta gestión de optimización que generó los ahorros antes mencionados. Primera pregunta: ¿cuánto tiempo y horas profesional se dedicaron para rebotar dos facturas de monto absolutamente despreciable? Segunda pregunta: ¿estamos enfocando nuestros esfuerzos gerenciales en el sentido que corresponde? Si seguimos malgastando nuestras horas de profesionales en esfuerzos de poco impacto y desperdiciando otras oportunidades de ahorro de real importancia, no podremos obtener el despegue económico que necesitamos.

3.7. Enfoque único en gestión vs. enfoque en gestión + tecnología

Se ha comentado, en secciones anteriores, la evolución en las últimas décadas del desarrollo de la técnicas gerenciales en todo el mundo. Posiblemente el mayor aporte en este aspecto ha sido el poder contar con herramientas de gestión que puedan alimentar nuestros procesos en la toma de decisiones, dejando de lado el *olfato*. Pese al desarrollo en el área gerencial, es común escuchar que hace 30 años las cosas se hacían mejor en la industria de la construcción en el Perú. Esto podría ser meramente una añoranza del pasado o una aplicación de aquello de que *todo tiempo pasado fue mejor*. Sin embargo, creemos que estas percepciones tiene algo de fundamento en la práctica.

Como se ha indicado en la sección 3.5. la educación en ingeniería civil en nuestras universidades, particularmente en lo que se refiere al área de construcción, está retrasada varias décadas con respecto de otros programas de ingeniería civil en el resto del mundo. La buena noticia es que esta brecha es susceptible de una reducción muy rápida, si hubiera buena voluntad en nuestras universidades. La falta de ajuste a la realidad actual ha abierto campo para que los *administradores* asuman las gerencias en nuestras empresas. Hace unos 30 años una gran parte de las gerencias de las empresas productivas eran llevadas por ingenieros. Hoy, en cambio, la mayor parte de las gerencias son llevadas por administradores, o en su defecto por ingenieros que han optado por desechar sus raíces tecnológicas y adoptar la posición de administrador de empresas o MBA.

Una de las razones que posiblemente expliquen el hecho de que las cosas se hacían mejor en la construcción hace 30 años es que antes los procesos productivos eran manejados por quienes conocían a profundidad dichos procesos. Hoy son dirigidos, insisto, por administradores o por ingenieros que han perdido las ganas de *ensuciarse las botas* y que, de alguna manera, ya no quieren meter las manos en la parte productiva; se han burocratizado. El desarrollo de la educación en ingeniería en otros países ha ido evolucionado bajo la idea de ahondar los aspectos tecnológicos y científicos de estas carreras pero, a la vez, no perder como parte del entrenamiento un fuerte componente de gestión dentro de las ingenierías modernas. Esto da como producto un profesional que conoce del tema, que gusta de intervenir en la producción pero que además maneja técnicas de gestión modernas, lo que le permite liderar procesos de optimización y cambio con mucha soltura. Consideramos que nuestro país necesita que sus profesionales dejen de lado la obsesión por la gerencia centrada únicamente en el manejo de los conceptos de administración (esto incluye la percepción de un modelo de ejecutivo de éxito que difunden los medios

de comunicación, con secretaria y oficina alfombrada, con vista panorámica, etc.) y apuntar a dirigir nuestros procesos productivos con un enfoque de gestión moderno, usando al máximo su formación ingenieril y sin temor de estar metido *donde queman las papas*, donde se genera la riqueza, es decir, en la faena de producción. Si bien los administradores, como su nombre lo dice, administran la riqueza, nuestro país necesita también de profesionales que generen dicha riqueza a través de nuevos negocios, nuevas tecnologías y principalmente haciendo que los negocios actuales sean más rentables. Cabe resaltar que este no es en ningún caso una actitud altruista. De esta forma se logran ingresos personales mucho mayores que cualquiera de los que caen en la definición de *ejecutivo de éxito* con terno y corbata.

Adicionalmente, y pese a que ya se ha mencionado que el cambio debe provenir de cada uno de nuestro profesionales, el enfoque del gerente que no quiere ensuciarse la manos perjudica los procesos de mejoramiento, ya que los aleja de los procesos productivos asumiendo que todos deben cambiar menos él mismo. Hemos tenido experiencia en la asesoría de procesos de cambio en empresas de nuestro medio, en los que el enfoque de transformación ha sido tratar de modificar la forma en que el capataz o el ingeniero de campo conducían el trabajo. Sin embargo, se han hecho pocos cambios en el nivel de gerencia, pues por lo general se piensa que no existe nada modificable en sus funciones. Debe quedar completamente claro que los procesos de cambio deben ser liderados necesariamente por la gerencia y los dueños; de otra forma los cambios están predestinados a fracasar desde su gestación. En este sentido, James Womack (1996: 33) comenta lo siguiente:

Enseñando a ver

Basado en su experiencia en la aplicación de los conceptos de producción sin pérdidas (*lean production*) en ocho diferentes unidades de negocio en el grupo Danaher, el señor Byrne ha concluido que

la medida puntual más importante para optimizar una empresa es que el gerente general sea quien guíe personalmente el cambio. Aquí es donde la mayoría de las compañías americanas fallaron desde el inicio. Los gerentes querían delegar parcialmente las actividades de mejoramiento en los cambios que estaban proponiendo porque se habían vuelto tímidos acerca de las áreas de producción, ingeniería, compra de materiales o el área de planificación y trabajo o «manos a la obra». Como resultado, los gerentes nunca llegaron a aprender nada acerca de los cambios en los niveles donde el valor (la riqueza) era realmente creada. Ellos proponían los cambios para el resto, pero seguían administrando con sus usanzas a la antigua, principalmente con el sistema de gestión por control de costos. Esto mató desde un inicio el esfuerzo de optimización. El hecho es que los grandes cambios requieren de actos de fe, para los cuales el gerente debe decir *hagámoslo*, aunque en un principio estos actos parezcan contrarios al sentido común. Si el gerente invierte tiempo en los procesos productivos, aprendiendo qué tan mal están las cosas, y comienza a ver el vasto potencial de mejoramiento que existe, tomará las decisiones correctas más frecuentemente. (Nuestra traducción)

3.8. Empujar vs. jalar, *suboptimización de partidas, trabajar en función de la cancha disponible y su efecto en la producción*

Un sistema de programación basado en *jalar* asigna el trabajo solo cuando se le necesita, en función de la optimización del uso de recursos. Un sistema de planificación basado en *empujar* asigna el trabajo tan pronto haya *cancha* para hacerlo. Por lo general, en nuestra industria se trabaja con sistemas orientados a *empujar*. Por ejemplo, si ya hemos hecho la excavación de una cimentación, inmediatamente se siente la necesidad de *llenar el hueco* y vaciar inmediatamente la zapata. Este tipo de decisión es en la mayoría de los casos indepen-

diente de la cantidad de equipo y mano de obra disponible, del balance entre las cuadrillas existentes en obra, la posibilidad de entorpecer otro trabajo paralelo por vaciar la zapata antes de tiempo, etc.

Adicionalmente, el enfoque *empujar* genera picos en los volúmenes de trabajo a realizar en forma diaria. Por lo general, las cuadrillas están diseñadas para cubrir el volumen de trabajo en dichos picos, y se genera un elevado desperdicio de horas hombre en los valles, es decir entre los picos de máximo trabajo. La razón de que los capataces y maestros siempre se quejen de falta de gente obedece este hecho práctico.

El *empujar*, como forma estándar de planificar, de algún modo refleja la forma en que se llevan a cabo las obras en nuestro país. En su mayoría, no usan un sistema de planificación operacional formal. Esto se demuestra en la investigación realizada en 50 obras en Lima, donde un porcentaje muy bajo de obras llevaba a cabo un proceso como el descrito antes. Hemos observado que la mayor parte de nuestros profesionales basan su gestión de obra en *empujar* para cumplir con las metas.⁷ De acuerdo con nuestros estudios, en los mejores casos se realizan planificaciones de operaciones por metas semanales, las cuales son transmitidas oralmente a los maestros y capataces. En estos casos, el personal de mando medio se encarga de asignar los recursos necesarios y asegurar el cumplimiento de estos plazos parciales. Por lo general, los maestros y capataces no tienen el entrenamiento necesario para poder utilizar herramientas modernas de gestión. Al no hacer uso de una adecuada planificación operacional, no logran obtener la mejor combinación de recursos.

⁷ En muchos casos hemos encontrado lo que algunos conocen como el *ingeniero capataz*, quien basa su gestión en su exigencia sobre sus capataces y obreros. Este tipo de profesionales no se ha percatado de que la responsabilidad de mejorar la producción recae principalmente en su labor de planificación, la que generalmente es reemplazada únicamente por la exigencia ciega en terreno, con los resultados de producción descritos a lo largo de este libro.

Debemos dejar atrás las prácticas en las que los profesionales solo nos dedicamos a empujar y perdemos de vista el balance de la diversas cuadrillas, así como el balance dentro de cada operación. La solución de este problema, tan frecuente en la construcción, se encuentra en las planificaciones operacionales semanales y diarias que se presentan en el capítulo 4.

Suboptimización en la excavación de zanjas con equipo mecánico

Durante la construcción de un hospital para Essalud, se planificó que las excavaciones de las cimentaciones se llevasen a cabo en la medida de lo posible con una retroexcavadora. La obra exigía que se fuese atacando el terreno rectangular formando *eles*. Es decir, se debía comenzar por una esquina de cada módulo del terreno y en adelante formar *eles* hasta culminar todas las excavaciones de los cimientos. De esta forma, no solo se optimizaba el proceso constructivo de la excavación propiamente dicha, sino que la eliminación del material se facilitaba: se debía excavar hacia el interior de la *eles* y eliminar hacia el exterior. Este proceso implicaba seguir un enfoque secuencial para optimizar excavación y la eliminar de material excedente. Sin embargo, al ver que *teníamos cancha* para avanzar con mayor velocidad, se optó por traer otra retroexcavadora y atacar un mismo módulo por dos frentes. El resultado fue que, efectivamente, la excavación se realizó más rápido, aunque gran parte del material excavado quedó atrapado en pilas entre las zanjas. La eliminación del mismo debió hacerse de forma manual, lo cual redundó en un mucho mayor consumo de mano de obra y un mayor costo total. Adicionalmente, la acumulación del material excavado entre las zanjas obligó que el fondo de las cimentaciones fuera excavado/limpiado repetidas veces, debido al desmoronamiento de las pilas, triplicando el consumo de mano de obra en la partida excavación manual. Este es un buen ejemplo del impacto económico que tiene asignar el trabajo en función a la *cancha* disponible, en lu-

gar de utilizar un enfoque de gestión de operaciones para tomar decisiones que finalmente tendrán un alto impacto económico.

3.9. *Competitividad real vs. ganar licitaciones*

Hacia finales de los años 90 (o debería decir finales del siglo) y principios del 2000, la crisis económica ha empujado a las empresas constructoras a repensar sus fortalezas y evaluar en múltiples concursos su competitividad. En esta cruenta competencia, las empresas constructoras se han visto obligadas a reducir sus precios de construcción sobre la base de ajustar sus precios unitarios (en algunos casos con mejoras en sus procesos constructivos así como en la gestión de producción de los mismos), además de reducir sus gastos generales y porcentajes de utilidad. En algunos casos, se ha optado por ajustar los precios a los de mercado. Es decir, si en una licitación la competencia estaba al 80% del presupuesto base, ciertas empresas habían optado por bajar sus precios, prácticamente a ciegas, algunas sin evaluar si sus sistemas constructivos y sus sistemas de gestión realmente permitían obtener dichos costos. Otras empresas optaron por no cobrar por sus equipos, otras por no cobrar por sus ingenieros, ya que en ambos casos estos eran costos directos que la empresa iba a asumir de cualquier forma si es que no tuviese obras. Algunas pocas optaron por ganar obras a cualquier precio, con el objetivo de postergar sus deudas unos meses, con la esperanza de que la situación mejorase. Lo único cierto al evaluar este calidoscopio de mecanismos para *mejorar la competitividad* de las empresas constructoras es que una cosa es ser competitivo en papeles y otra completamente distinta es ser competitivo en la ejecución de los proyectos.

En principio, la competitividad de las empresas, bajo condiciones de mercado más estables, se basa no solo en el precio. De hecho, el *buen nombre* de la empresa, las obras similares ejecutadas antes, la experiencia y capacidad de los profesionales que confor-

man la empresa, la capacidad financiera de la misma, las relaciones y amistades de los gerentes y dueños, entre otros elementos, forman la mayor parte de lo que se conoce como *competitividad*. La productividad o la eficiencia de la empresa es un componente dentro de estas características que dan competitividad a una empresa constructora, más no la única ni necesariamente la más importante.

No obstante, debe quedarle claro al lector que la competitividad que mencionamos se refiere principalmente a conseguir proyectos. Si bien es necesario conseguir proyectos para poder subsistir en este negocio, la competitividad de largo plazo está dada en gran medida por otros factores. Gran parte de ella está dada por la consecución de forma pareja y estable de los márgenes establecidos en los presupuestos. Esta premisa simple no se cumple en muchas empresas constructoras. Muchas empresas muestran *records* de ganancia de utilidades en algunas obras y de pérdidas en otras. Las que sumen un monto mayor en azul que el monto en rojo harán utilidades a final de año y las que no, arrojarán pérdidas. Este, aunque parezca mentira, es el escenario de muchas de nuestras empresas constructoras. Para mejorar este aspecto de competitividad de largo plazo uno de los principales factores es contar con un *SISTEMA* apropiado de gestiones de operaciones de construcción. En el terreno, en la faena de construcción es donde se hace o se pierde el dinero. Por ende, se debe establecer un sistema homogéneo en toda la empresa constructora que permita que las obras se manejen bajo un esquema de optimización constante, sin que la persona que dirija la obra genere diferencias substanciales en las utilidades obtenidas de obra en obra. El sistema de gestión de producción que se presenta en este libro permite establecer políticas de empresa y brinda las herramientas adecuadas para manejar los proyectos mediante la aplicación de conceptos y técnicas de gestión de producción, lo cual genera mayores utilidades. Un buen sistema de gestión de producción (junto con un buen sistema de presupuestos) asegurará obtener los márgenes

presupuestados en cada proyecto y, por lo tanto, asegurará los ingresos que le dan estabilidad a las empresas constructoras en el tiempo. Ciertamente, los gastos de oficina central y el manejo financiero de la empresa deberán ir de acuerdo con políticas austeras para que la utilidad de los proyectos se vea reflejada en el balance final de la empresa.

La competitividad de las empresas en el largo plazo también se ve influida de forma importante por la calidad de las obras construidas, por el manejo de la seguridad en cada una de nuestras obras, así como del manejo del impacto ambiental. Estos puntos son fundamentales para que una empresa constructora permanezca en el tiempo. Sin embargo, no podemos perder de vista que, para poder construir con calidad, tener condiciones seguras de trabajo y no afectar el medio ambiente, debemos tener, primero, sistemas que nos permitan ser rentables tanto en el nivel del proyecto como en el nivel de la empresa. Si una empresa no es rentable, en principio no existe.

3.10. Sobre la independencia de los ingenieros residentes y la necesidad del aporte de los superintendentes de obra

En este libro se insiste en gran medida en las herramientas y las funciones del personal de terreno en obras de construcción con el objetivo de mejorar nuestra eficiencia y nuestra productividad. Existe, sin embargo, un cabo suelto en la estrategia que se plantea en el siguiente capítulo de este libro. Es el tema de la independencia con la que generalmente se manejan nuestros ingenieros residentes en obra. Pese a que, para poder crecer en el manejo de más obras, es necesario contar con equipos profesionales que se manejen de forma independiente, es también necesario que la gerencia de nuestras empresas y los superintendentes de nuestras obras cumplan con el rol que les corresponde en el manejo de las obras

de construcción. En otras industrias existe una línea de mando clara que, en la de construcción, muchas veces es interrumpida entre la oficina central y las obras. Así, en muchos casos, la labor de los gerentes y superintendentes se limita a conversar de las situaciones generales con el residente, dar recorridos por la obra y verificar los resultados económicos de la misma. Desde nuestro punto de vista, es absolutamente indispensable que la gerencia de nuestras empresas cuente con el mayor y más profundo conocimiento de los sistemas de gestión de producción. Es necesario que la gerencia y los superintendentes de obra puedan tomar decisiones e influir en los procesos constructivos a través del manejo de los sistemas de aumento de la productividad. El aporte de la gerencia mediante su experiencia y mediante un adecuado manejo de los sistemas de gestión de producción es fundamental para que las empresas funcionen con una filosofía y con un paquete de herramientas comunes. Esta es la única forma en que una empresa funcione como tal, y no como un conglomerado de subempresas, en cada obra que manejemos.

3.11. Supervisión a la antigua y los contratos con multinacionales

La supervisión de obras de construcción es necesaria considerando que el propietario no maneja los temas de construcción y que necesita de alguien que lo represente y defienda sus intereses durante el proceso de construcción. La supervisión de obras, sin embargo, desde el punto netamente de la productividad, puede clasificarse como una pérdida. Cabe mencionar que en nuestro medio existen empresas de supervisión muy serias y de reconocida trayectoria que cumplen sus objetivos de forma cabal. En esta sección evaluamos a aquellas que tienden al uso de prácticas antiguas y antagónicas con las condiciones y necesidades de nuestro país.

La supervisión que se observa en nuestro medio, en algunos casos, se ha desviado de su función original. Esta promueve y destaca a las compañías que basan su gestión en el manejo de cada detalle de la ley, los contratos y los reglamentos. Esta práctica desvía y disuade a las compañías constructoras de centrar su atención en la producción, su eficiencia y productividad. Finalmente, sucede que, bajo ciertos esquemas de supervisión, resulta más conveniente contar con un residente abogado que con uno que sepa manejar la producción de forma óptima. Este efecto genera que se deje de lado la eficiencia y se generan mayores costos en el ámbito de las empresas, de la industria y del país.

Me gusta que me odien

En una de las últimas obras que dirigimos, el jefe del equipo supervisor nos expresó con orgullo que todos los ingenieros residentes de las empresas a las cuales había supervisado terminaron odiándolo al finalizar cada una de sus obras supervisadas. Este es el caso inverso del *peruano buena gente* mencionado en secciones anteriores de este libro, siendo tanto o más dañino que el primero para el desarrollo de la industria y para el país. Algunas compañías de supervisión en nuestro medio han olvidado que su función es proteger los intereses del propietario. Parecen haber cambiado su función por proteger su propia imagen y empapelar su gestión presentando los informes más voluminosos, actuando muchas veces incluso en contra de los intereses del propietario.

Desafortunadamente, y en contra de la mayor parte de los conceptos vertidos en este libro, consideramos que bajo las circunstancias actuales es necesario manejar los conceptos de productividad en forma paralela con un manejo profundo de los contratos y las leyes por parte de nuestros residentes de obra. En nuestras obras hemos observado con preocupación como el manejo contractual ha consumido gran parte del tiempo de nuestros ingenie-

ros de terreno y ha evitado que dediquen su tiempo a sus funciones fundamentales, centradas sobre todo en el manejo de la producción y en la optimización de la misma. El tema del manejo contractual con entidades del estado así como con las grandes multinacionales no es tratado a profundidad en este libro aunque posiblemente sea necesario tratarlo en publicaciones futuras. Consideramos que amerita un estudio y una propuesta que apunte al desarrollo sostenido de nuestra industria.

3.12. *De la corrupción*

Como cierre del presente capítulo, de crítica de la industria y de sus prácticas actuales, quisiéramos hacer un breve comentario acerca de la corrupción. Mientras no nos libremos de prácticas poco profesionales en las que centran su competitividad algunas empresas, difícilmente podremos salir del subdesarrollo y de la pobreza que hoy nos agobia. Estamos firmemente convencidos de los beneficios que se generarían en el nivel de la industria y en el nivel del país al erradicar de forma total y permanente estas prácticas perjudiciales. Es posible erradicar la corrupción de nuestra sociedad si los profesionales de la industria trabajamos juntos en esta línea. Si bien las malas prácticas generan beneficios puntuales para las empresas involucradas, a la larga ha quedado demostrado que la mayor parte de estas han quebrado al no poder adaptarse a un sistema de libre competencia y, por lo tanto, el beneficio obtenido a largo plazo es inexistente.

Por otra parte, es necesario enfrentar el reto de la productividad y de la competitividad como país. La corrupción va en sentido contrario de la productividad, generando que los índices productivos nacionales sean cada vez más bajos.

4. PROPUESTA: EL SISTEMA CVG

En este capítulo se muestran una serie de recomendaciones y herramientas específicas diseñadas para aumentar la productividad en empresas constructoras. Hemos tratado de incluir cada uno de los puntos que una empresa utiliza en obras de construcción, de forma que los lectores puedan implementar efectivamente las recomendaciones vertidas en el libro a sus respectivas obras. El paquete de acciones que conforman lo que llamamos en este libro como el *sistema CVG* incluye una serie de herramientas del movimiento internacional de *lean construction* y muchas otras desarrolladas por nuestra empresa y adaptadas a la realidad del Perú. La aplicabilidad del sistema CVG está ampliamente probada en el Perú. Se incluyen, además, ejemplos y tablas extraídas de nuestras obras, a fin de ilustrar y facilitar al lector la implementación de un programa de mejoramiento de la productividad en obras de construcción.

4.1. *La nueva filosofía de producción: un poco de luz dentro del caos*

Así como existen herramientas y procedimientos en el diseño estructural para determinar las menores dimensiones posibles capaces de tomar las cargas del diseño, así también hay enfoques y

herramientas concretas que permiten optimizar y encontrar los sistemas y cuadrillas óptimas para lograr mejoras substanciales en la construcción.

Las herramientas puntuales se describen en la sección 4.2; sin embargo, es importante discutir algunos puntos que forman parte fundamental de la filosofía para la implementación efectiva de dichas herramientas.

- **Enfoque en la eliminación despiadada de pérdidas:** En principio, una de las principales fuentes de cambio es comprender que existen *pérdidas* dentro de nuestros procesos, bajo la definición presentada al principio de este libro. Posteriormente, debemos contar con herramientas que nos permitan cuantificar las pérdidas, para luego orientar nuestros sistemas de gestión de operaciones en obra para eliminar de forma despiadada dichas pérdidas. En principio, debemos tener claro que *todo lo que se puede medir, se puede mejorar*. Mientras que no podamos medir nuestras ineficiencias, mal vamos a poder eliminarlas.
- **Grasa superficial y grasa interna (dos niveles fundamentales de pérdidas):** De acuerdo con la experiencia del autor, existen dos etapas fundamentales en el proceso de optimización de las empresas constructoras, íntimamente relacionados con los niveles de TP, TC y TNC que logran en sus obras. Las empresas con niveles de TP en un rango muy bajo, entre 20-30%, presentan un alto nivel de lo que en el primer capítulo definimos como *grasa superficial*. Es decir, presentan un nivel de *grasa* o pérdidas fáciles de eliminar. En principio, la *grasa superficial* se concentra en la sobredotación general de las cuadrillas productivas, así como en un número de obreros por encima de lo mínimo indispensable en actividades de apoyo (almacenero, portero/guardián, cuadrilla de volantes, cuadrilla de apoyo eléctrico, etc.). Una vez eliminada la *grasa superficial*, deberíamos lograr valores de TP en el rango del 40%. Una

vez que el proceso de optimización llega a estos niveles, tenemos que comenzar a lidiar con lo que hemos definido como *grasa interna*. La *grasa interná* es más difícil de combatir, ya que está relacionada con pérdidas mucho más complejas que la sencilla sobre dotación de personal. Para obtener niveles productivos del orden del 50% se debe combatir la *grasa interna* con herramientas de gestión de operaciones como las que se describen más adelante. Finalmente, para terminar de eliminarla y así pasar a niveles de TP del orden del 60%, se deben profundizar aún más los cambios y comenzar a trabajar en mejorar el diseño mismo de los proyectos (*constructabilidad*).

- **Enfoque en los flujos** (modelo de conversión vs. modelo de flujos): Todos hemos sido educados dentro de un esquema mental donde toda actividad es separada por funciones, departamentos, etc. (modelo de conversión). El sentido común nos indica que las actividades deben ser agrupadas para que ellas puedan ser ejecutadas y manejadas de forma más eficiente. Sin embargo, la concepción de la filosofía de producción ha cambiado radicalmente en los últimos años. El trabajo ya no se debe visualizar como una suma de actividades puntuales (como es el caso del muy utilizado CPM), sino como la conexión de una serie de flujos y actividades puntuales que conforman el trabajo en la realidad. En principio, en los modelos convencionales las actividades están representadas únicamente por la actividad directa (ejemplo: asentar ladrillo) y se obviaban los flujos que conectan las actividades puntuales (ejemplo: el transporte del ladrillo desde el lugar donde lo bajaron del camión hasta el lugar de asentado, el transporte del personal obrero desde el punto de asentado del ladrillo a la siguiente posición, la fabricación y transporte de la mezcla, la colocación de andamios, los trabajos rehechos, mediciones, instrucciones, etc.). Los flujos conforman la mayor parte de las pérdidas; sin embargo, no aparecen como tales en los modelos convencionales.

La consecuencia directa de este error conceptual es que en la prácticas se obtienen porcentajes de trabajo productivo muy bajos.

- **Enfoque en la confiabilidad:** En la construcción existe una sensación muy generalizada en cuanto a la confiabilidad que se puede llegar a obtener, particularmente en el área de planificación.

Confiabilidad y premezclado

El profesional de obra ordena un pedido de concreto premezclado para que llegue a la obra a las tres de la tarde del día siguiente, con cargo de confirmar al día siguiente. La compañía de premezclado sabe que el pedido va a ser finalmente atrasado un poco antes de que salga el camión de la planta por lo que, para optimizar su tiempo, programa el despacho para las cinco de la tarde. Finalmente, debido a retrasos en el encofrado y el fierro, el pedido se confirma para las ocho de la noche. El camión llega finalmente a las nueve de la noche a la obra, pero el fierro no está aún terminado, por lo que el camión debe esperar 45 minutos más para ser vaciado.

El ejemplo anterior es solo una muestra de lo poco confiable en que se ha convertido el compromiso con fechas y horas. La falta de un sistema de gestión de producción que permita mejorar la confiabilidad de la planificación de obra genera grandes pérdidas en la construcción, tanto para el constructor como para los subcontratistas y proveedores. Pese a que existen algunos efectos que no podemos controlar totalmente (llámese clima, desastres naturales, etc.), gran parte de nuestros problemas en obra son generados por la falta de confiabilidad del sistema de planificación y su impacto en la generación pérdidas y sobrecostos. La confiabilidad de la planificación se mejora mediante técnicas descritas en la siguiente sección.

- **Rigurosidad en el trabajo:** Es fundamental que el sistema de mejoramiento de la productividad se enfrente con la mayor rigurosidad posible desde su inicio. Hemos propuesto un sistema de mejoramiento que asemeja la asimilación de una religión. Los procesos de cambio suelen ser difíciles, particularmente por las relaciones humanas envueltas en ellos, por lo que los enfoques *a media máquina* generalmente terminarán en un rotundo fracaso.

El peruano *buena gente* vs. la productividad

En el Perú, muchas veces se suele confundir el hecho de ser *buena gente* con la rigurosidad y el empuje que se necesita para lograr obtener las metas que nos planteamos cuando enfrentamos un trabajo. Muchas veces perdemos la percepción de lo que realmente necesitamos así como hacia dónde vamos como personas y como empresas. En muchos casos, preferimos a alguien *buena gente* que a una persona eficiente o con conocimiento. La rigurosidad en el trabajo es percibida como algo malo. «Mi gerente pretende que le entregue el informe justo el día que me lo solicitó. *Pucha*, es mala gente». Debemos acostumbrarnos a que la puntualidad, el cumplimiento de plazos, el cumplimiento de nuestros compromisos contractuales, el cumplimiento de costos, calidad y seguridad en nuestras obras, no tengan nada que ver con ser o no ser *buena gente*. El cumplimiento de estos puntos debería formar parte de nuestros estándares de trabajo y de hacer negocios. Mientras que no cumplamos con estos puntos, difícilmente podremos obtener índices de productividad de nivel internacional.

- **Enfoque en la gestión de producción:** gran parte de nuestras empresas constructoras ha desviado su atención hacia otros menesteres que difieren de la producción misma dentro de la construcción. Hemos tenido la oportunidad de preguntar en diferentes cursos a profesionales, gerentes y dueños de la in-

dustria de la construcción *qué es lo que vendemos en nuestras empresas*. La respuesta sería clara si es que trabajásemos, digamos, en una fábrica de zapatos. Todos contestarían al unísono que lo que vendemos es zapatos. En la construcción, el objeto parece no estar tan claro. La respuesta ante es muy variada y se confunde con el área de proyectos, con la parte inmobiliaria y con otras áreas relacionadas al negocio de la construcción propiamente dicho. Lo que vendemos es *construcción*. Es decir, vendemos un servicio mediante el cual nos encargamos de construir obras para nosotros mismos o para clientes terceros. Por tanto, si nuestro negocio es vender *construcción*, nuestro esfuerzo fundamental debería centrarse en optimizar nuestro producto. No podemos olvidar, sin embargo, que existe una serie de áreas que no debemos descuidar (como, por ejemplo, las relaciones contractuales, la relación con la supervisión, el área financiera de la empresa, entre otras). Sin embargo, si es que no generamos utilidad en la producción misma, mediante la optimización de nuestros procesos, todas las áreas de trabajo indirectas de la construcción no servirán para nada.

- **Manejo de la construcción con enfoque de dueño:** consideramos de gran importancia que, para obtener los máximos frutos del sistema propuesto, es necesario que los profesionales manejen los proyectos con un enfoque de dueño de empresa. Es común que en proyectos, digamos de dos millones de dólares, al incurrir en un gasto no presupuestado de 1,000 dólares, el sentido de urgencia se pierda si comparamos el monto gastado con el monto total de la obra. La visión del dueño es algo distinta. Primero, se compara el monto gastado con la utilidad esperada, lo cual porcentualmente lo hace más importante. Segundo, el dueño piensa que, si no se hubiese gastado ese monto, hubiese pasado a forma parte de la utilidad, la cual recibirá al culminar la obra. Hemos implementado en la empresa que es de nuestra propiedad una serie de incentivos para

los profesionales de obra, los cuales se discuten más adelante, con el objetivo de hacerlos pensar como dueños de la empresa. El resultado final es que se generan ahorros importantes a través de mejorar la productividad de la obra, pero también se generan ahorros relacionados con ajustar cada ítem del presupuesto, al percibir cada dólar como propio.

4.2. Sistema de mejoramiento de la productividad en la construcción: el sistema CVG

A continuación se resume una serie de herramientas que componen el paquete de mejoramiento de la productividad propuesto que denominamos *sistema CVG*, el cual ha sido desarrollado y utilizado a profundidad en CVG Ingenieros y en algunas empresas a las que el autor ha brindado asesoría tanto local como internacionalmente. El sistema CVG se basa en la teoría y algunas herramientas propuestas originalmente por *The International Group for Lean Construction* así como en la experiencia práctica de la aplicación de estos conceptos por parte de CVG Ingenieros. El paquete propuesto ha superado ampliamente la etapa de diagnóstico y la fase teórica para proponer un sistema completamente probado y de inmediata aplicación práctica.

4.2.1. Planificación general de obra: planificación maestra por hitos

La planificación general de obra se suele llevar a cabo mediante la utilización de algún paquete de programación disponible en el mercado. El esfuerzo realizado para lograr dicha planificación es grande, ya que se plantea toda la obra, lo que nos obliga a analizar y programar un gran número de actividades, ver su correlación, determinar la compatibilidad en el uso de recursos y equipos, etc. De acuerdo con nuestra experiencia, sin embargo, dicha planificación suele desviarse del planteamiento original el primer día de

trabajo. Por consiguiente, no queda otro camino que volver a planificar la obra completa regularmente, o abandonar el esfuerzo de planificación y usar la planificación original solo como un marco de referencia. La primera opción requiere de un gran esfuerzo y tiempo. Además, por lo general, siempre está atrasada, por lo que no cumple su función de planificación (previa al trabajo) y en el mejor de los casos sirve para presentarla a la supervisión o al propietario. La segunda opción suele ser la más frecuente, desafortunadamente.

La confiabilidad que podemos obtener de una planificación general muy detallada es muy baja. Recomendamos iniciar la obra, con una planificación general *por hitos*. Dicha planificación es muy simple y toma mucho menor esfuerzo y tiempo. La confiabilidad de una planificación por hitos es bastante mayor. El logro de objetivos parciales se obtendrá a través de planificaciones detalladas, de corto plazo (*look ahead planning*, planificaciones semanales, planificaciones diarias, como se describe más adelante en este capítulo). Las planificaciones de corto plazo comprenden planes de trabajo para un horizonte máximo de cinco semanas y, por lo general, fluctúan entre 1-3 semanas. Dichas planificaciones van de acuerdo con la planificación general por hitos.

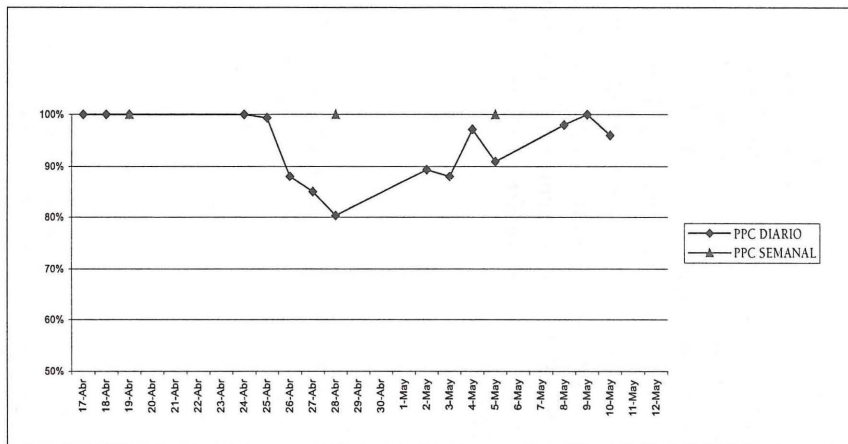
La planificación de un horizonte corto nos permite lograr un porcentaje de cumplimiento del orden del 100%, es decir, cumplimos efectivamente todas las actividades que planificamos para dicho período, lo cual nos lleva a cumplir tanto los plazos parciales de la obra como los plazos totales. Tal afirmación, que podría sonar a utopía, es una realidad cuando se aplica el sistema propuesto. De esta forma, la obra se planifica con el detalle necesario, pero asegurando la confiabilidad que necesitamos de un sistema de planificación. En la siguiente página se muestra un gráfico extraído de una de las obras que hemos construidos últimamente (la obra es un reservorio enterrado de 16,000 m de capacidad), donde se presenta el porcentaje de cumplimiento de la planifica-

ción diaria (mayormente entre 90 y 100% de cumplimiento), así como un cumplimiento del 100% en la planificación semanal. Por tanto, se logra una planificación con 100% de confiabilidad.

Adicionalmente, el manejo de recursos en la planificación general de una obra que pretende resolverlo todo mediante una gran planificación detallada de la misma es, por lo general, bastante malo e impreciso.⁸ Es común que el manejo de la planificación se convierta rápidamente en una *wish list* (una lista de deseos). Es decir, tenemos una secuencia de nuestras operaciones que solo representa buenas intenciones, más no la realidad que aparece en nuestras obras. Por lo general, las consecuentes replanificaciones durante el proceso de construcción se traducen en *empujar* el final de los trabajos hacia atrás.

⁸ Para obras de mediana y alta complejidad, el cerebro del ser humano resulta ser demasiado pequeño para visualizar las condiciones de borde y los cientos de problemas que pueden afectar la planificación general de la obra. Por esto recomendamos dividir la planificación en porciones de obra más pequeñas, más manejables. Sin embargo, y como se comenta en el capítulo 5 de este libro, hoy en día existen herramientas computacionales que resuelven estos problemas y nos permiten visualizar la obra en su conjunto ya sea con modelos 3D, 4D o con hologramas tridimensionales de la obra a ser ejecutada, antes de haber movido una sola piedra. Al contar con herramientas computacionales adecuadas, sí es factible planificar toda la obra en detalle e incluso probar diferentes alternativas constructivas antes de iniciar los trabajos.

Gráfico 4.1. Porcentaje de cumplimiento de planificación



	Lunes 17-Apr	Martes 18-Apr	Miércoles 19-Apr	Lunes 24-Apr	Martes 25-Apr	Miércoles 26-Apr	Jueves 27-Apr	Viernes 28-Apr	Martes 2-May	Miércoles 3-May	Jueves 4-May	Viernes 5-May
PPC DIARIO	100%	100%	100%	100%	99%	88%	85%	80%	89%	88%	97%	91%
Comentario					Retraso solados	Falló colocación de plástico	Falló solados	Coloc. de plástico y balizas	Retraso Unicón	Cayó trén de acero	Recuperando	Coloc. de plástico

Por otro lado, la combinación de una planificación maestra por hitos con planificaciones detalladas de corto plazo nos permite concentrarnos en estas últimas y, consecuentemente, es mucho más fácil corregir los recursos necesarios en función de los metrados faltantes y de la secuencialidad de los trabajos pendientes. Ajustar la planificación sin un cálculo detallado de metrados faltantes y de los recursos necesarios para culminar en un determinado plazo es un autoengaño. En muchos casos el fiel cumplimiento de la planificación depende en gran medida de factores externos de esta (como el clima) y de otros factores relacionados directamente con nuestra gestión, como es la logística de materiales, equipos, mano de obra e información, así como del flujo de dinero (caja). Sea cual fuere la razón del retraso en el avance de la obra, para no variar el plazo final de entrega se debe replanificar la cantidad de recursos.

Los pasos necesarios para la generación de una planificación maestra por hitos son: metrado de partidas, definición de métodos constructivos, cálculo de velocidades de cada partida en función de la tecnología seleccionada, cálculo de hitos intermedios así como de la magnitud de los recursos necesarios, y generación de la planificación maestra. Cabe resaltar que para la planificación por hitos se puede utilizar cualquiera de los programas computacionales existentes en el mercado. Lo que debe primar, sin embargo, es que la planificación por hitos deber ser simple y relativamente rápida de realizar. Los pasos que recomendamos seguir son:

Paso 1: se calcularán los metrados por tipo de trabajo o trenes de actividades. Es importante no sumar los metrados en grandes paquetes (ejemplo: concreto), ya que las velocidades y las unidades de producción básicas en cada partida serán diferentes (ejemplo: concreto de muros, concreto de columnas, concreto de losas, etc.).

Paso 2: se determinará la tecnología que se utilizará. La velocidad de producción de cada unidad básica dependerá de la selección que hagamos de la tecnología que se utilizará.

Paso 3: se determinará la cantidad de recursos por unidad básica. Significa que debemos conocer la cantidad de equipos y la composición de las cuadrillas de obreros necesarias para cada unidad básica de producción.

Paso 4: suponiendo que ya hemos realizado todos los metrados y que ya hemos definido la tecnología y los métodos constructivos que se utilizarán, se procederá a realizar el cálculo de la duración de cada actividad en función de una cuadrilla básica (cuadrilla mínima) y de la tecnología seleccionada (como se muestra en la tabla 4.1.) Es importante determinar la velocidad de producción de cada cuadrilla por día, ya que el enfoque de la planificación estará guiado por la eliminación de tiempos muertos mediante la asignación de solo una actividad a cada cuadrilla. La velocidad de producción de cada unidad de producción básica se obtiene de la experiencia de cada empresa constructora, o de la estimación ingenieril de la misma.

Tabla 4.1. Cálculo de la duración de cada actividad individual

Actividad	Tecnología	Metrado	Cuadrilla	Velocidad Básica	Duración con cuadrilla básica
Nombre de la actividad (ejemplo: concreto de muros de sostenimiento)	Tecnología seleccionada (ejemplo: concreto premezclado.. bomba)	Metrado de la actividad (Ejemplo: 1,500 m)	(Ejemplo: 2 OP + 1 AY)	Velocidad de producción en unidades por día (Ejemplo: 50 m/día)	Metrado/velocidad (Ejemplo: 1500/500 = 30 días)

Paso 5: se ajustará el número de unidades básicas de producción para que, considerando la secuencia, las relaciones de precedencia y término de los diferentes trenes de actividades, se cumpla la programación en los plazos totales establecidos.

A continuación se presenta un ejemplo de la programación general por hitos y del procedimiento descrito anteriormente.

4.2.2. Look ahead planning (LAP), *planificación anticipada de recursos*

Este término en inglés define a una planificación con 3-5 semanas de anticipación con respecto del trabajo que se conduce en ese momento en obra (su traducción sería *planificación anticipada de recursos*). El LAP está diseñado para prever con una adecuada anticipación los requerimientos de materiales, mano de obra, equipos, financiamiento e información. La mayor parte de los problemas que generan atrasos e incumplimiento en la planificación de una obra son responsabilidad de los profesionales de obra. El LAP es una suerte de lista de verificación que nos permite anticipar todos nuestros requerimientos, de forma de usar el LAP como «escudo» para proteger la producción de efectos externos a ella. La construcción se ve afectada por una serie de factores, ya sea internos o externos. Frecuentemente se suele suponer que todos los factores que nos afectan son externos, fuera de nuestro control. Lo cierto es que la mayor parte de los factores que afectan nuestras obras dependen de nosotros. En este sentido, el LAP logra que tomemos el control, de forma anticipada, del impacto generado en nuestra producción por la mano de obra, los materiales, los equipos, la información y el dinero; vale decir, planifiquemos la disponibilidad de los recursos para cuando realmente los necesitemos. De acuerdo con estudios que hemos hecho en obras, un porcentaje considerable de los factores que afectan la eficiencia y la productividad tienen como causa fundamental el no contar con los recursos necesarios en el momento que se les requiere.

En principio, las actividades que no cumplan con todos los requerimientos previstos no deben planificarse para la siguiente semana. Planificar actividades para las que no se cuenta con recursos sería una vez más autoengañarnos. De esta forma se reduce la variabilidad en el cumplimiento de la planificación y se evita incurrir en pérdidas y gastos mayores. La forma de medir la eficiencia del LAP es mediante los porcentajes de cumplimiento de

las planificaciones semanales. El LAP aumenta substancialmente la confiabilidad del sistema propuesto.

A continuación se muestra un ejemplo muy simple de un formato frecuentemente utilizado por la empresa de nuestra propiedad en sus obras de construcción. En la parte superior del formato se ve la planificación de la semana y en la inferior se ve la necesidad de recursos para realizar las tareas planificadas. La única diferencia es que la necesidad de recursos (LAP) se planifica con cierta anticipación (tres semanas en el ejemplo mostrado), mientras que la ejecución de las tareas se planifica en detalle con una semana de anticipación.

4.2.3. Programación lineal, la importancia de la formación de trenes de trabajo⁹

La programación lineal, a diferencia de otras técnicas de programación como el CPM (*critical path method*), está basada en lograr volúmenes de producción similares para cada día, en cada cuadrilla. En este sentido, se logra eliminar las holguras que, por definición, son una pérdida.¹⁰ La programación lineal está basada en partir los volúmenes de trabajo en porciones pequeñas, más manejables. La programación de cada actividad se logra mediante el balance de la capacidad de las cuadrillas asignadas a cada actividad, de forma tal que la cantidad de fierro, encofrado y concreto (por dar un ejemplo) de una porción de obra sea compatible con otras, eliminando así tiempos de espera y tiempos muertos. Cabe mencionar que existe el peligro que, al no contar con holguras, cada atraso de una actividad genere atraso al resto de actividades. Sin embargo, en el camino para obtener mayores eficiencias y productividad, tenemos que asumir mayores riesgos calculados. Se muestra un ejemplo del formato típico de la programación lineal (trenes de trabajo) en la Tabla 4.3.

⁹ *Tren de trabajo* es un término acuñado en CVG Ingenieros por la necesidad de crear en la planificación actividades que vayan conectadas como vagones, una detrás de otra, generando una relación de dependencia y reducción general de holguras, mediante la conversión de todas las actividades del tren en críticas. El término *tren* es usado en actividades netamente concatenadas, como es el caso de los *trenes* de afirmado de carreteras. Sin embargo, los trenes de trabajos que se proponen en este libro se aplican tanto para actividades lineales como para las que no lo son.

¹⁰ El CPM es una técnica de planificación que se basa en tener una ruta crítica y muchas rutas que no son críticas y que por ende presentan algún nivel de holgura. Las holguras son pérdidas; por lo tanto, el CPM es un método en el que voluntariamente introducimos pérdidas en la construcción. Es decir, el CPM presenta errores conceptuales que lo invalidan como herramienta aplicable a los nuevos conceptos de gestión de operaciones.

Tabla 4.3.A. Formato de programación lineal (trenes de trabajo) para obra de edificación en altura

	Día1	Día2	Días3	Día4	Día5	Día6	Día7	Día8	Día9	Día10	Día11
Fierro vertical	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3
Encof. Vertical		A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3
Conc. Vertical			A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3
Enc. Fondo viga				A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2
Fierro vigas					A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2
Encof. cost. Vigas					A1	B1	C1	D1	A2	B2	
Encofrado losas							A1	B1	C1	D1	A2
Fierro losas								A1	B1	C1	D1
Concreto de losas								A1	B1	C1	
Desencof. de losas											

Tabla 4.3. B. Formato de programación lineal (trenes de trabajo) para obra de edificación en altura

	Día12	Día13	Día14	Día15	Día16	Día17	Día18	Día19	Día20	Día21	Día22
Fierro vertical	D3	A4	B4	C4	D4	A5	B5	C5	D5	A6	B6
Encof. vertical	C3	D3	A4	B4	C4	D4	A5	B5	C5	D5	A6
Conc. vertical	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4	A5	B5	C5	D5
Enc. fondo viga	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4	A5	B5	C5
Fierro Vigas	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4	A5	B5
Encof. cost. vigas	C2	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4	A5
Encofrado losas	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4	D4
Fierro losas	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4	C4
Concreto de losas	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3	A4	B4
Desencof. de losas	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3

Gráfico 4.3. Plantas y Sectores

Piso 1, Sectores A, B, C, D

A1	B1	C1	D1
----	----	----	----

Piso 2, Sectores A, B, C, D

A2	B2	C2	D2
----	----	----	----

Piso 3, Sectores A, B, C, D

A3	B3	C3	D3
----	----	----	----

Piso 4, Sectores A, B, C, D

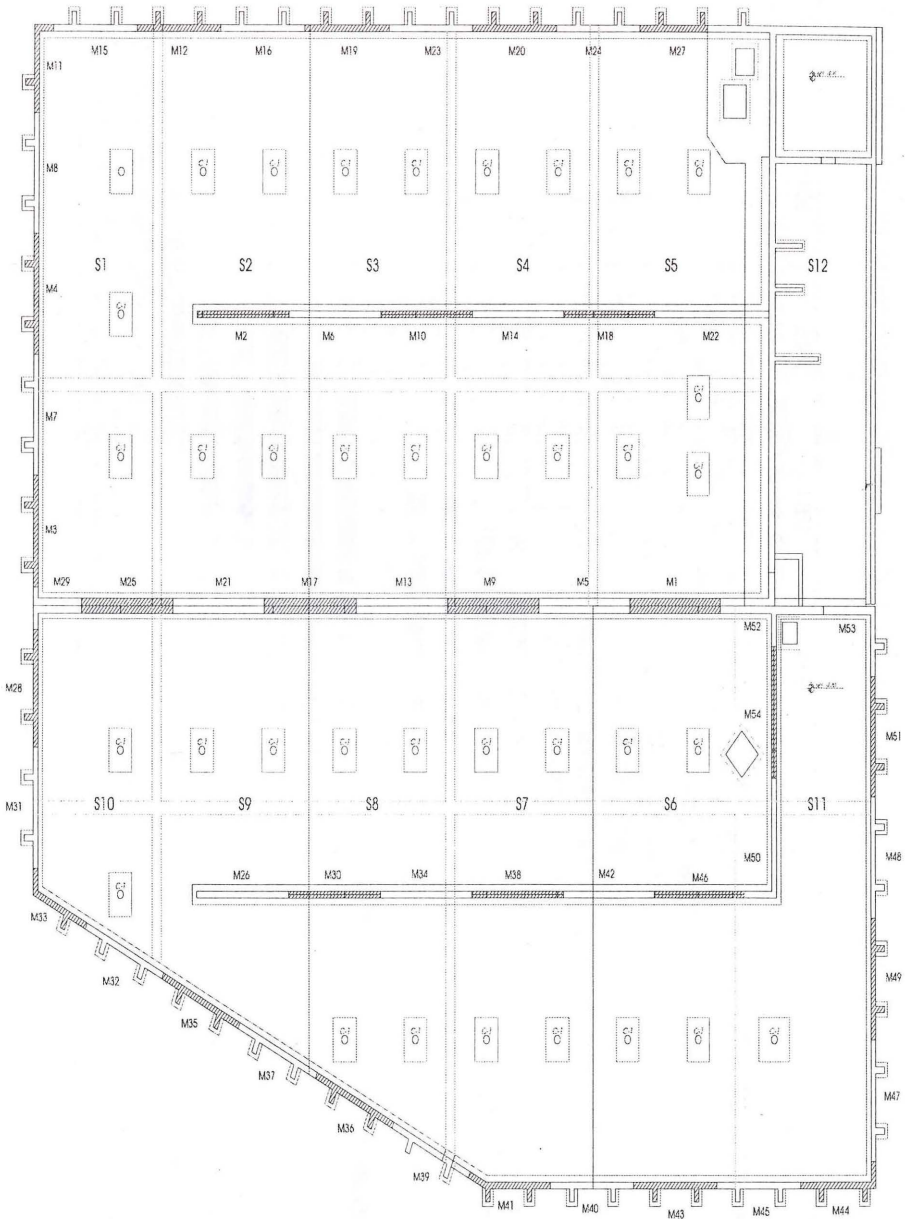
A4	B4	C4	D4
----	----	----	----

Como se puede apreciar en la Tabla 4.3., cada tarea (como por ejemplo la construcción de la estructura de un piso) se divide en porciones pequeñas o sectores que pueden ser construidas en un día de trabajo, como se muestra en el Gráfico 1. La cantidad de trabajo (ya sea kg de fierro vertical, m de encofrado vertical, m² de encofrado horizontal, concreto vertical, etc.) deber ser equivalente entre sí en cada sector. Es decir, todas las cuadrillas deben estar balanceadas para avanzar diariamente el mismo metrado (un sector por día) por cada actividad, sin holguras o pérdidas.

A continuación se presenta un ejemplo de la construcción de un reservorio. Primero, se muestran las dos plantas de la obra divididas en sectores, dentro de los cuales se ha asignado los trabajos correspondientes para facilitar la planificación y control diario de actividades, así como el balance entre las mismas. Debe recordarse que para mejorar la productividad necesitamos, entre otras cosas, una planificación confiable pero a la vez requerimos que

cada cuadrilla realice una cantidad de trabajo similar cada día. De esta forma se minimizan los picos de trabajo, y por consiguiente se reducen los valles plagados de tiempos muertos (trabajos contributorio y no contributorio). Además, se presentan los trenes de trabajo, que están directamente relacionados a los sectores dibujados en las plantas, donde se aprecia la secuencialidad del trabajo para las actividades de movimiento de tierra, habilitación de acero, losa inferior, columnas, muros y losa superior. Como se ha mencionado antes, los trenes muestran cuadrillas específicas que realizan una sola actividad desde que ingresan a la obra hasta que terminan su actividad y se retiran. Nótese también que dichas cuadrillas realizan la misma cantidad de trabajo todos los días. A esto es lo que nosotros llamamos *convertir una obra no repetitiva en repetitiva* o reemplazar una planificación por la ruta crítica (CPM o *critical path method*) en una planificación donde todas las actividades son críticas dentro de su tren (ACP o *all critical path method*) (Ghio 1997).

Gráfico 4.4. Sectorización de la Estructura para la Generación de los Trenes de Trabajo



4.2.4. Programaciones semanales

Basada en la planificación general por hitos y en las actividades que sean aprobadas mediante la lista de verificación del *look ahead planning*, se genera una planificación detallada de las actividades que se realizarán durante la siguiente semana. Esta planificación debe generarse el sábado de la semana precedente, tomando en consideración el avance real de la obra. La planificación semanal, además, sirve como marco de referencia para la generación de planificaciones diarias horarias, como se describe más adelante. Al final de cada semana, se evalúa el porcentaje de cumplimiento (PC) de las actividades planificadas. El PC se calcula como la división del número de las actividades planificadas cumplidas al 100%, entre el número de actividades planificadas totales. Además, se genera un listado de las razones por las cuales no han sido cumplidas ciertas actividades planificadas, para poder atacar las causas del problema y eliminarlas de raíz.

Una práctica frecuente de la empresa de nuestra propiedad es planificar el trabajo de la semana de lunes a viernes. De esta forma se pueden recuperar algunas partidas específicas el sábado o el domingo, dando flexibilidad y confiabilidad a la planificación semanal. Así, no es raro obtener porcentajes de cumplimiento del orden del 100% sin mayor dificultad. En el gráfico 4.5 se muestra cómo es factible obtener porcentajes de cumplimiento diarios del orden del 90-100% y, además, cómo con las correcciones de la planificación realizadas los sábados se logra un 100% de cumplimiento de la planificación semanal. Así, cualquier retraso generado durante la semana se corrige en transcurso de la misma semana, manteniendo inamovible el plazo parcial y total de obra.

En las siguientes páginas se muestran dos tipos de planificaciones semanales. La primera es para una casa de 300 m² de planta y la segunda para un edificio de dieciocho pisos. En ambos casos es altamente eficiente realizar planificaciones semanales. Para

obtener resultados en la productividad de nuestras obras, lo cierto es que no interesa que estas sean grandes o pequeñas. En ambos casos se pueden tener resultados similares e igualmente importantes. En el caso de la casa se muestra un cumplimiento del 100%. En el ejemplo del edificio, los porcentajes son menores. Esto se explica porque esta fue una obra en donde intervenimos como asesores de una empresa local. Luego de cinco semanas de iniciado nuestro trabajo se pasó de los niveles mostrados en el gráfico a cumplimientos cercanos al 100%, se redujo la mano de obra a la mitad y se duplicó la velocidad de producción.

Cabe mencionar también que en USA, los porcentajes que se obtienen con frecuencia sobre los porcentajes de cumplimiento semanales están en el orden del 60% y llegan al orden del 80-90% al implementar metodologías similares a las descritas en este libro.

4.2.5. *Programaciones diarias, balance entre capacidad de producción y asignación de tareas diarias por cuadrilla*

El sistema propuesto incluye la utilización de planificaciones diarias, las cuales están diseñadas para balancear la capacidad de producción real de las cuadrillas existentes respecto de la cantidad de trabajo que se les asigna. Es relativamente común que en obra se tracen metas de cumplimiento semanal (digamos, vaciar el techo para el siguiente sábado), y se encargue al maestro o los capataces cumplir con dicha meta. Por lo general, los maestros y capataces son juzgados por los plazos de ejecución y por la calidad de su trabajo. Sin embargo, pese a que normalmente existe buena voluntad, el personal de mando medio no cuenta con las herramientas ni con la preparación suficientes para poder obtener dichas metas con la máxima eficiencia posible. Por lo tanto, no es poco frecuente ver que los mandos medios sí cumplan con las metas, pero no es frecuente ver que se cumplan las metas con productividades adecuadas. Esta es una de las principales razones por las cuales se obtienen niveles de TP en promedio en Lima por debajo del 28%.

Sobre la base de la capacidad de producción de cada cuadrilla (así como en las actividades asignadas en la planificación semanal), se procede a asignar los volúmenes de trabajo que completen dicha capacidad de producción. Esta asignación permite reducir/eliminar pérdidas relacionadas directamente con la producción diaria de cada cuadrilla.

La planificación diaria debe incluir:

1. Todas las actividades que se realizarán durante el día, con el responsable de cada cuadrilla
2. El número de obrero de cada cuadrilla básica así como el número de cuadrillas básicas.
3. El metrado de cada actividad que se realizará.

4. La velocidad de producción de cada cuadrilla.
5. A partir de los valores anteriores, se calcula el rendimiento para cada actividad.

El cuadro de planificación diaria también incluye una columna para incorporar el porcentaje de cumplimiento de cada actividad en el día. Adicionalmente, en la parte baja del cuadro se incluye otro donde se resumen los metrados y los rendimientos para cada actividad mayor, tanto lo planificado como lo realmente ejecutado. Se incluye también aquí el PC y los comentarios con las razones por las cuales no se alcanzaron (o se sobrepasaron) los volúmenes planificados. En la siguiente página se muestra un ejemplo real donde se ilustran cada uno de estos puntos.

Sobre la base de los resultados obtenidos de las planificaciones diarias se calculan los cuadros y gráficos de rendimientos. Además del cuadro de planificación diaria se incluye un ejemplo de una asesoría realizada por el autor, en el que se expone la fluctuación de los rendimientos obtenidos de los resultados de las planificaciones diarias al aplicar la filosofía y las herramientas descritas en este libro.

Tabla 4.5. Ejemplo de planificación diaria

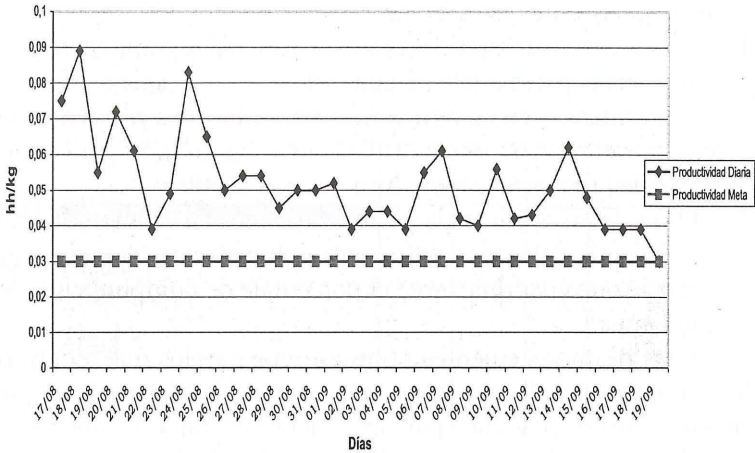
FECHA : Lunes 08/05/00
 PLANIFICACIÓN DIARIA
 Para Martes 09/05/00

ACTIVIDAD	n.º obr	n.º cuad	tot. obr.	metrado	un.	Velo	n.ºhr/día	HH/un	#días	% CUMPL
ACERO CORRUGADO A. MEIGGS										
HABILITACIÓN										
Habilitación de 8 ton	2	1.00	9.00	" 8,000 "	kg	"8,000.00"	10.00	0.003	1.00	100%
COLOCACIÓN										
SECTOR 9: colocar acero de losa	2	3.00	6.00	" 1,892 "	kg	650.00	9.70	0.031	1.00	100%
SECTOR 10: colocar acero de cimentación + muros	2	10.00	20.00	" 8,913 "	kg	900.00	9.90	0.022	1.00	100%
Columnas C8 y C9: encimar acero zunchos	2	1.00	2.00	254	kg	254.00	10.00	0.079	1.00	100%
ENCOFRADO J. CANQUI										
SECTOR 8: encofrado de cimentación	2	7.00	14.00	49.18	m2	8.50	8.27	2.35	1.00	100%
C7-C8: encofrado de 2 columnas circulares	3	1.00	3.00	16.46	m2	16.46	10.00	1.82	1.00	100%
CONCRETO F. GONZALES										
SECTOR 7: vaciado de losa inferior y cimentación	9	1.00	9.00	62.41	m3	65.00	9.60	1.38	1.00	100%
SECTOR 7: acabado pulido losa	6	1.00	6.00	237.40	m2	261.00	9.10	0.23	1.00	100%
C7 - C8 : vaciado 2 columnas circulares	3	1.00	3.00	2.00	m3	20.00	1.00	1.50	1.00	100%
OTROS F. GONZALES										
SECTOR 10: habilitar terreno y colocar plástico	3	1.00	3.00	111.80	m2	400.00	2.80	0.08	1.00	100%
									% Cumplimiento	100%

RESUMEN METAS DEL DÍA

PARTIDA	UND	METRADO PROG.	REND. PROG.	METRADO REAL	REND. REAL	PC	COMENTARIOS
HABILITACIÓN ACERO	kg	8000	0.011	8075	0.011	101%	
COLOCACIÓN ACERO	kg	11059	0.026	11059	0.026	100%	
ENCOFRADO LOSA INFERIOR	m2	49.2	2.35	49.2	3.29	100%	
ENCOFRADO COLUMNAS CIRCULARES	m2	16.5	1.82	16.5	1.94	100%	
CONCRETO LOSA INFERIOR	m3	62.4	1.38	66.0	1.58	106%	
CONCRETO COLUMNAS CIRCULARES	m3	2.0	1.50	2.5	4.00	125%	
ACABADO PULIDO	m2	237	0.23	237	0.43	100%	
PLÁSTICO	m2	111.8	0.08	112	0.17	100%	
							Bomba Unición muy pequeña

Gráfico 4.6. Fluctuación diaria de productividad de mano de obra al aplicar sistema CVG - Cuadrilla de fierro



4.2.6. Órdenes de trabajo: transmisión de la información a terreno

La transmisión de la información generada en la planificación hasta el campo se debe realizar, de manera formal, a través de una orden de trabajo. No basta con que el capataz o el maestro de una obra sepa qué actividades se deben realizar en la semana (como es práctica frecuente en nuestros medio) o incluso en el día. Para que el sistema de planificación y de optimización de la productividad propuesto en este libro funcione, y lo haga en la magnitud mínima para lograr índices de productividad de nivel internacional, es necesario que la información generada por los profesionales de obra llegue a terreno de forma clara, precisa y oportuna. La orden de trabajo se extrae de las planificaciones diarias, aunque se simplifique, en la medida de lo posible, la información para no

marear al personal de terreno (capataces o jefes de cuadrilla). Hemos utilizado una serie de formatos para este fin. Sin embargo, el punto principal es que las órdenes de trabajo cumplan con los siguientes requisitos básicos:

1. La lista de tareas que deberán ser realizadas durante el día, para cada capataz o jefe de cuadrilla.
2. La información en cuanto al número de obreros por cuadrilla básica y el número de cuadrillas que se requerirán para realizar cada tarea dentro de la lista de cada capataz.
3. El horario en el que cada actividad deberá ser culminada.
4. Finalmente, debiera incluirse una columna para que el capataz o jefe de cuadrilla anote el porcentaje de cumplimiento de cada tarea.

En las páginas siguientes se muestran ejemplos que incluyen los puntos discutidos en esta sección y modelos de este tipo que sirven como apoyo gráfico para las órdenes de trabajo. Cabe mencionar que, en algunos casos, hemos utilizado los gráficos que acompañan a la orden de trabajo para facilitar la comprensión de sus tareas al personal de campo (capataces y jefes de cuadrilla).

De acuerdo con la planificación diaria, se podría obtener sin mayor trámite el *tareo*, es decir, las horas hombre (HH's) realmente utilizadas por cada cuadrilla, para ser aplicadas en el control del consumo de HH's. Ahora, cuando la planificación diaria no se cumpla al 100%, deberán tomarse acciones correctivas para que la planificación semanal sí se cumpla, apuntándose a obtener 100% de cumplimiento. Es por este motivo que el capataz deberá realizar el *tareo* para sus respectivas cuadrillas, lo cual incluye el consumo real de horas hombre de cuadrilla. Más adelante se incluye un cuadro-ejemplo para que los capataces puedan tomar el *tareo* de las HH's de sus respectivas cuadrillas.

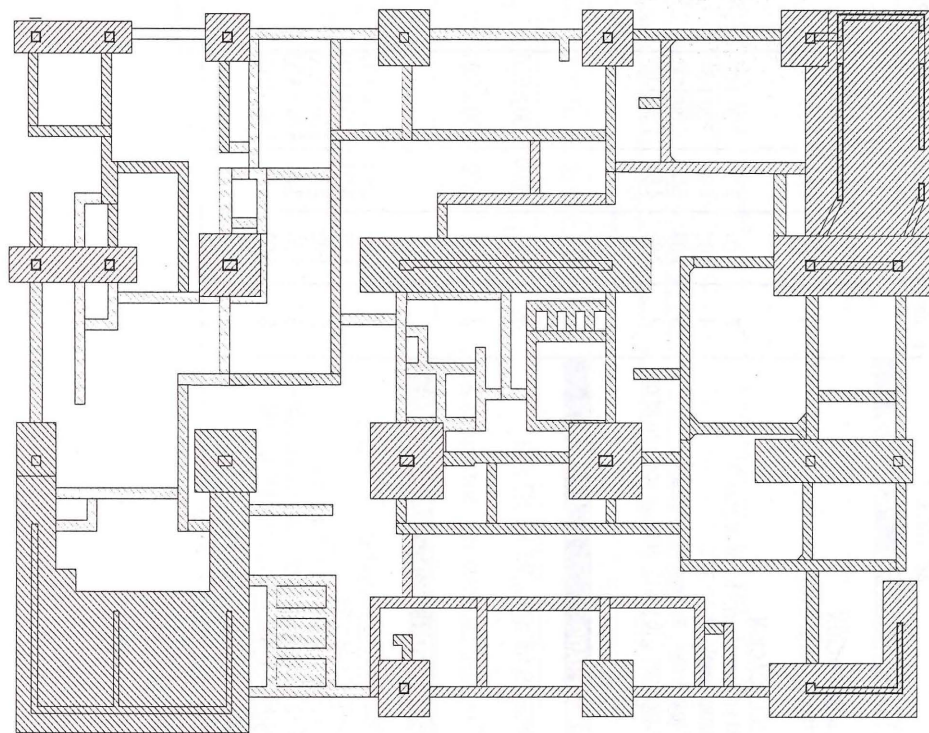
Tabla 4.6. Orden de trabajo diaria

FECHA : Viernes 12/05/00

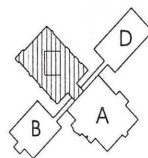
ORDEN DE TRABAJO

Para sábado 13/05/00

ACTIVIDAD	n.º obr.	n.º cuad.	tot. obr.	horario	CUMPL
ACERO CORRUGADO A. MEIGGS					
HABILITACIÓN					
Habilitación de 2100 kg	4	1.00	4.00	7:30 1:00	
COLOCACIÓN					
Muro contrafuerte: terminar zona 3	7	1.00	7.00	7:30 1:00	
Muro simple: Z 3 50%	4	1.00	4.00	7:30 1:00	
Muro doble: terminar muro doble	5	1.00	5.00	7:30 1:00	
Columnas C16 y C15: encimar acero zunchos	2	2.00	4.00	7:30 1:00	
ENCOFRADO J. CANQUI					
MUROS 1ra. altura: M5, M6 ,M7 y M8	18	1.00	18.00	7:30 a 6:30	
C13 - C14 : Encofrado de 2 columnas circulares	3	1.00	3.00	7:30 a 5:00	
CONCRETO F. GONZALES					
Colocación de WaterStop	2	1.00	2.00	7:30 a 9:30	
Limpieza de juntas	3	1.00	3.00	7:30 a 5:00	
Solaqueo de elementos estructurales	2	1.00	2.00	9:30 a 5:00	
C13 - C14 : vaciado de 2 columnas circulares	3	1.00	3.00	5:00 a 5:30	
MUROS PRIMER NIVEL: M5, M6, M7, M8	5	1.00	5.00	5:30 a 9:00	



BLOQUE C












-  Excavacion
-  Perfilado
-  Falso Cimiento / Solado
-  Trazo / Balisas
-  Acero S/C - Acero Columnas
-  Cimiento / Zapatas
-  Trazo2
-  Encofrado S/C - Encofrado Columnas
-  Concreto S/C - Concreto Columnas

Gráfico 4.7. (Orden de Trabajo)

Tabla 4.7. Hoja de tareo para capataces

RESPONSABLE: Sr.Canqui Telles José

Fecha:

#	OBRERO	CATEGORIA	ENCOFRADO DE FRISOS	ENCOFRADO DE COLUMNAS	ACABADO DE LOSAS	ENCOFRADO DE MUROS 1ER. NIVEL	ENCOFRADO 2DA. ALTURA	HABILITADO DE MADERA	ALZAPRIMADO DE LOSAS	ENCORADO DE FONDOS	ENCOFRADO DE FRISOS Y JUNTAS (TECHO)	DEENCOFRADO DE LOSA DE TECHO	TOTAL HH POR OBRERO	HORAS NORMALES	HH AL 60%	HH AL 100%
1	CANQUI TELLES JOSÉ	CAPATAZ														
2	MARQUINA GALENO	OPERARIO														
3	PIZARRO CUYA SESINIO	OPERARIO														
4	CUBA PIZARRO DARIO	OPERARIO														
5	SILVA ULISES	OPERARIO														
6	ROMERO RODRIGO FEDERICO	OPERARIO														
7	CRUZ LLAMOCA FREDY	OPERARIO														
8	LAO CARO ELI	OPERARIO														
9	NUNEZ GOMEZ GUZMAN	OPERARIO														
10	VALVERDE MILLA JORGE	OPERARIO														
11	ESTEBAN ALEJOS JAIME	PEON														
12	NARAZAS LANDA TEOBALDO	OFICIAL														
13	NUNEZ GOMEZ FERREOL	PEON														
14	SANCHEZ VICENTE JULIO	OFICIAL														
15	MAMANI CANQUI MIGUEL	OFICIAL														
16	CHINO CHOQUE JESUS	PEON														
17	SANCHEZ BASILIO GRAGORIO	OFICIAL														
18	HUAYTA MEDINA MANUEL	OPERARIO														
19	FERNANDEZ MAMERTO	OPERARIO														
20	CANALES ISAIS	PEON														
21	ARCAYA EDGAR	PEON														
22	SUBILETE FLORES JOSÉ	OFICIAL														
23	CORDOVA SALAS EULOGIO	PEON														
24	PILLCO LLAMACUNCA SIMEON	PEON														
25	MESTAS JUAQUIRA JOSÉ	OFICIAL														
26	TACSA CONDORI LUIS	OPERARIO														
27	GUTIERREZ GUIA JULIO	OPERARIO														
28	MARQUINA CARLOS	PEON														
	TOTALES															

4.2.7. Herramientas para el control de rendimientos

Hasta esta sección se ha discutido la filosofía así como una serie de herramientas para mejorar la productividad en obras de construcción. El enfoque está dirigido principalmente a la mano de obra, aunque también puede ser aplicado con igual efectividad al equipo y maquinaria. Ahora, si queremos verificar que el esfuerzo propuesto en este libro brinda resultados, y la posibilidad de poder controlar nuestro consumo real de mano de obra, es necesario contar con herramientas que nos permitan controlar nuestra productividad en cada partida de control en obra.

Para este fin es indispensable controlar de forma diaria los rendimientos (cociente de las HH's consumidas entre los volúmenes de producción real obtenidos en obra). Es posible realizar este tipo de control aun sin contar con un sistema de gestión operacional formalmente establecido. Hemos observado compañías que llevan tal de control de los rendimientos mediante *tareos* de la mano de obra y metrados diarios de los volúmenes efectivamente realizados. Para este fin es común utilizar un *tareador* que diariamente realice este trabajo. También se le puede encargar la labor a los capataces.

En el caso de del sistema propuesto (de utilización de planificaciones semanales y diarias e implementación de programaciones lineales o trenes de trabajo) el control de la mano de obra es tremendamente más sencillo, rápido y confiable.

Las herramientas de control de la mano de obra deben incluir, dentro de la información que nos entregan para cada partida, lo siguiente:

1. HH's consumidas durante la semana.
2. HH's acumuladas hasta la fecha.
3. HH's totales asignadas a la partida en cuestión en el presupuesto inicial de obra.
4. Rendimiento presupuestado.

5. Rendimiento semanal real.
6. HH's ganadas/perdidas a la fecha.
7. HH's ganadas/perdidas proyectadas a fin de obra.

En las siguientes páginas se presenta un ejemplo de este tipo de herramientas de control de la mano de obra.

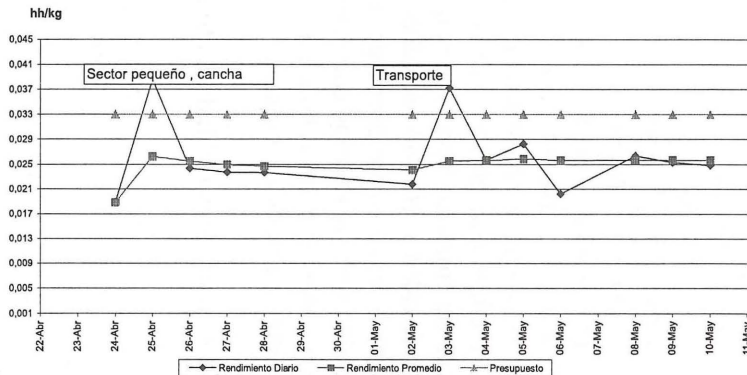
Adicionalmente, debido al nivel de planificación que se puede llegar a obtener en el sistema propuesto, es factible controlar el mismo esquema de forma diaria (y acumularse de forma semanal si es que así se quisiera). Por otra parte es conveniente acompañar la información antes descrita con un gráfico que ploteé una recta que marque el rendimiento del presupuesto, una curva con los rendimientos diarios y otra con el rendimiento promedio acumulado a la fecha. Posteriormente, se presenta un ejemplo.

Tabla 4.8. Ejemplo de Informe de Productividad

ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	OBRA TOTAL	16/03 - 22/03	23/3 - 29/3	30/3 - 05/4	06/4 - 12/4	13/04 - 19/04	20/04 - 26/04	27/04 - 03/05	04/05 - 10/05
			SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8
5.-	CONCRETO LOSA INFERIOR (M3)									
	H.H. SEMANAL						90.00	80.00	498.00	510.00
	AVANCE SEMANAL						0.00		201.00	332.00
	H.H. ACUMULADOS	2,003.40	0.00	-	-	-	-	80.00	578.00	1,088.00
	AVANCE ACUMULADO	742.00	0.00	-	-	-	-	-	201.00	533.00
	RENDIMIENTO SEMANAL								2.48	1.54
	RENDIMIENTO ACUMULADO	2.70							2.88	2.04
	HH GAN/PERD A LA FECHA		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-35.30	351.10
	HH GAN/PERD A FIN DE OBRA		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-130.31	488.77
13.-	ACERO CORRUGADO									
	H.H. SEMANAL						450.00	1,002.00	1,600.00	2,137.00
	AVANCE SEMANAL						15,174.00	25,590.59	38,875.90	53,131.60
	H.H. ACUMULADOS	11,208.18	0.00	-	-	-	450.00	1,452.00	3,052.00	5,189.00
	AVANCE ACUMULADO	203,785.00	0.00	-	-	-	15,174.00	40,764.59	79,640.49	132,772.09
	RENDIMIENTO SEMANAL						0.030	0.039	0.041	0.040
	RENDIMIENTO ACUMULADO	0.055					0.030	0.036	0.038	0.039
	HH GAN/PERD A LA FECHA		0.00	0.00	0.00	0.00	384.57	790.05	1,328.23	2,113.46
	HH GAN/PERD A FIN DE OBRA		0.00	0.00	0.00	0.00	5,164.73	3,949.53	3,398.68	3,243.85

Gráfico 4.8. Informe gráfico de productividad

CONTROL DE RENDIMIENTOS
COLOCACIÓN ACERO CORRUGADO



	Viernes 21-Abr	Lunes 24 Abr	Martes 25 Abr	Miércoles 26 Abr	Jueves 27 Abr	Viernes 28 Abr	Martes 2 May	Miércoles 3 May	Jueves 4 May	Viernes 5 May	Sábado 6 May	Lunes 8 May	Martes 9 May	Miércoles 10 May
HH diario		180	220	260	260	260	260	280	280	280	78	280	280	280
Avance diario		9540.0	5700.0	10670.0	10964.0	10988	11935	7514	10902	9911	3850	10622	11059	11263
HH acumulado		180	400	660	920	1180	1440	1720	2000	2280	2358	2638	2918	3198
Avance acumulado		9540.0	15240.0	25910.0	36874.0	47862.0	59797.0	67311.0	78213.0	88124.0	91974.0	102596.0	113655.0	124918.0
Rendimiento diario		0.019	0.039	0.024	0.024	0.024	0.022	0.037	0.026	0.028	0.020	0.026	0.025	0.025
Rendimiento acumulado		0.019	0.026	0.025	0.025	0.025	0.024	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026	0.026
HH ganadas/perdidas a la fecha		134.820	102.920	195.030	296.842	399.446	533.301	501.263	581.029	628.092	677.142	747.668	832.615	924.294
HH ganadas/perdidas a fin de obra		2,879.91	1,376.22	1,533.93	1,640.50	1,700.75	1,817.46	1,517.58	1,513.88	1,452.45	1,500.33	1,485.08	1,492.89	1,507.85

Datos del presupuesto

Rendimiento 0.033 hh/kg
Metrado Total 203,785.00 kg

4.2.8. Mediciones de terreno

Una vez ajustada la planificación de corto plazo, mediante la programación lineal, el LAP, las programaciones semanales y las planificaciones diarias, se pasa al segundo paso en el mejoramiento de la productividad. Este paso se relaciona con las mediciones del trabajo propiamente dicho. Las mediciones nos permiten determinar con gran profundidad el diseño de los métodos constructivos que se utilizarán, del mismo modo que posibilitan cuantificar en cada cuadrilla el porcentaje de TP, TC y TNC. De esta forma el paquete de mejoramiento de productividad propuesto podrá ajustar o cambiar los métodos constructivos y apoyará la obtención de la mayor eficiencia posible, de acuerdo con evaluaciones numéricas de nuestros procesos constructivos. Adicionalmente, podremos calcular el nivel general de actividad, que medirá los parámetros de los tres tipos de trabajo en el ámbito de toda la obra. Estos valores nos permitirán comparar nuestros resultados con otras obras y nos serán de utilidad para cuantificar cierto tipo de pérdidas como transportes, viajes, etc.

- **Medición del nivel general de actividad de obra:**

La medición del nivel general de actividad en obra es parte de las herramientas clásicas en el estudio de tiempos y movimientos utilizadas comúnmente en ingeniería industrial. Esta medición se realiza de forma aleatoria en toda la obra. La muestra se toma sobre todos los obreros de la misma. De esta forma obtenemos información acerca de la utilización del tiempo en los tres tipos de trabajo fundamentales: trabajo productivo (TP), trabajo contributorio (TC) y trabajo no contributorio (TNC) (definidos en el capítulo 1). Adicionalmente, para conseguir información más precisa, la medición puede aplicarse a cada cuadrilla de la obra. Finalmente, las mediciones del TC y del TNC se pueden subdividir en:

- TC: transportes (T); limpieza (L); recibir/dar instrucciones (I); mediciones (M); otros (X)
- TNC: viajes (V); tiempo ocioso (N); esperas (E); trabajo rehecho (R); descanso (D); necesidades fisiológicas (B); otros (Y)

La medición se realiza de forma aleatoria. Se trata de que la persona que realiza la medición recorra el total de esta o la visualice completamente desde un punto estático. Cada vez que se tope visualmente con un obrero, deberá apuntar de qué cuadrilla es, si es que está realizando algún TP, TC o TNC, y, dentro de estos dos últimos, especificar la clasificación del mismo de acuerdo con lo descrito en el párrafo anterior. Es fundamental para este fin que se trabaje de forma rigurosa en la aplicación de las definiciones de cada categoría de manera permanente e inamovible.

Los resultados de las mediciones del nivel general de actividad son utilizados como muestreos del nivel que manejamos en nuestras obras y sirven para poder compararnos con estándares internacionales y con los nuevos estándares nacionales presentados en este libro. Las mediciones servirán, también, para detectar cuáles son las principales pérdidas, cuantificarlas y priorizar nuestro *ataque* para eliminarlas.

Tabla 4.9. Formato para medición del nivel general de actividad

n.º	Cuadrilla		TC	TNC	T	L	I	M	X	V	N	E	R	B	D	Y
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																

Nota

n.º es el número de observaciones. De acuerdo con Serpell (1993), es necesario conducir 384 mediciones para que estas sean estadísticamente válidas. Se recomienda consultar la referencia mencionada para la sustentación matemática de la misma.

Tabla 4.10. Tabla de medición del nivel general de actividad
(Ejemplo de formato que acompaña a la medición)

Descripción de la medición

Descripción de la muestra

La medición se realizó sin incluir los sótanos, por no estar alumbrados a la hora de la medición.

Debe notarse que, al no estar alumbrados los sótanos, no se está permitiendo trabajar a las cuadrillas asignadas a esta zona.

La medición se realizó a las 8:00 a.m.

Observaciones

Las mediciones efectuadas representan principalmente las actividades de encofrado de losa y vigas, además de colocación de acero para vigas y mallas para losas.

De los 72 obreros observados, encargados del encofrado de losas, aproximadamente 60% se dedicaba a realizar labores de transporte desde los niveles inferiores.

Se sugiere utilizar un sistema que permita repartir los materiales al personal con anticipación a la ejecución de sus tareas.

Pese a que se contaba con una grúa, el transporte se realizaba en gran medida de forma manual.

Se sugiere cambiar el sistema de eliminación del desmonte.

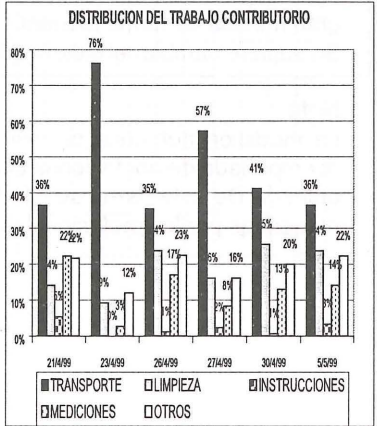
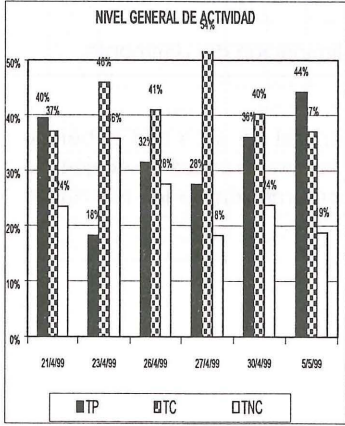
Nota

La medición numérica del nivel general de actividad deberá ir acompañada de anotaciones como las presentadas en el ejemplo anterior. De esta forma se da la comprensión de los resultados numéricos por los profesionales de obra.

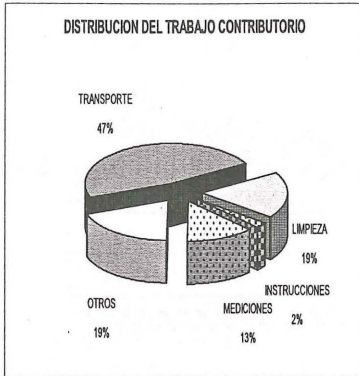
Gráfico 4.9. Medición del nivel general de actividad

DIA	FECHA	TP	TC					TNC					TOT				
			T	L	I	M	X	V	N	E	R	D		B	X		
1	21/4/99	158	148	94	400	54	21	8	33	32	60	0	22	3	5	3	1
2	23/4/99	73	184	143	400	140	17	0	5	22	80	0	61	0	1	1	0
3	26/4/99	126	164	110	400	58	39	2	28	37	86	0	18	3	2	1	0
4	27/4/99	110	217	73	400	124	35	5	18	35	56	0	15	0	1	0	1
5	30/4/99	144	161	95	400	66	41	1	21	32	60	0	22	11	0	2	0
6	5/5/99	177	148	75	400	54	35	5	21	33	42	0	15	15	3	0	0

DIA	FECHA	TP	TC					TNC					TOT				
			T	L	I	M	X	V	N	E	R	D		B	X		
1	21/4/99	40%	37%	24%	100%	36%	14%	5%	22%	22%	64%	0%	23%	3%	5%	3%	1%
2	23/4/99	18%	46%	36%	100%	76%	9%	0%	3%	12%	56%	0%	43%	0%	1%	1%	0%
3	26/4/99	32%	41%	28%	100%	35%	24%	1%	17%	23%	78%	0%	16%	3%	2%	1%	0%
4	27/4/99	28%	54%	18%	100%	57%	16%	2%	8%	16%	77%	0%	21%	0%	1%	0%	1%
5	30/4/99	36%	40%	24%	100%	41%	25%	1%	13%	20%	63%	0%	23%	12%	0%	2%	0%
6	5/5/99	44%	37%	19%	100%	36%	24%	3%	14%	22%	56%	0%	20%	20%	4%	0%	0%
PROM		33%	43%	25%		47%	19%	2%	13%	19%	66%	0%	24%	6%	2%	1%	0%



Continuación Gráfico 4.9.



DISTRIBUCION DEL TRABAJO NO CONTRIBUTORIO

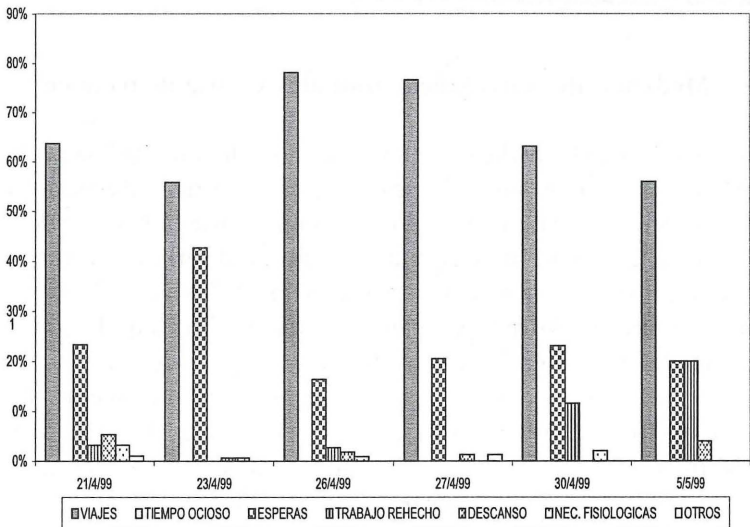
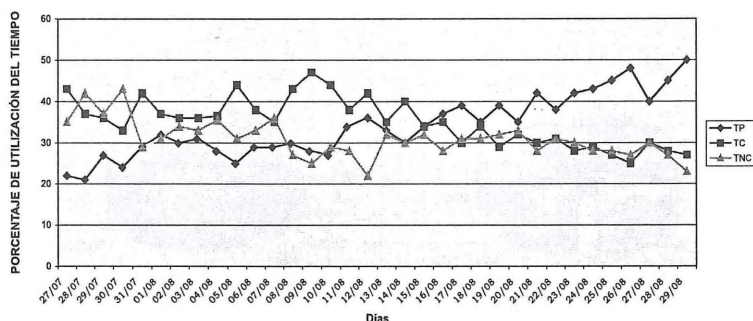


Gráfico 4.10. Fluctuación diaria de los porcentajes de ocupación del tiempo al aplicar sistema CVG - Nivel general de actividad



NOTA: Al inicio del trabajo de optimización de la productividad, los TC y los TNC se llevaban casi un 80% del tiempo. Al final de trabajo se llegó a obtener TP del orden del 50%.

Es importante notar que pese a que no se llegó a los niveles óptimos de TP=60%, TC=25% y TNC = 15%, los trabajos se ordenaron (mayor porcentaje de TP y menor de TNC)

Al inicio del trabajo de optimización, se reduce más rápidamente el TNC. El trabajo fino reduce el TC, con lo cual se logra superar la barrera del 40-45% de TP.

• Medición de actividades puntuales y carta de balance

A diferencia de la medición del nivel general de actividad, la medición de actividades puntuales se centra en una actividad específica. La medición se realiza desde un punto fijo, desde donde se pueda observar la operación completa. Se trata de determinar cómo se divide el tiempo que se le dedica a cada una de las tareas dentro de una operación. Es decir, por ejemplo, cómo se distribuye la utilización del tiempo en colocar planchas, colocar pines, colocar maderas de base, colocar alineadores, transportar las piezas, esperas, mediciones, recibir instrucciones, aplomar, etc., dentro del proceso de *encofrado metálico*. Las mediciones nos ayudan a entender la secuencia constructiva real que se está utilizando, buscar optimizar el

proceso, estudiar la posibilidad de introducir algún cambio tecnológico, determinar los porcentajes de ocupación de tiempo. Lo último sirve para hallar el número óptimo de obreros para cada cuadrilla, con el objetivo de mejorar los rendimientos.

En la medición se toma el tiempo de cada obrero (operario o peón) por cada minuto. Cada vez que se toma una medición se le asigna a cada obrero el tipo de trabajo que está realizando en el instante en que se le ha observado. La forma en que se divide el trabajo (como en el ejemplo anterior de *encofrado metálico*) se tiene que definir previamente a la medición. A cada actividad dentro de un proceso se le asignará una letra, la cual será colocada en la tabla de toma de mediciones en intervalos de un minuto.

El método anterior es recomendable para una cuadrilla con un máximo de 8-10 obreros. De otra forma, la toma de datos se torna inmanejable. El otro requisito es que el trabajo de la cuadrilla que se medirá se haga en un espacio limitado. De conducirse la actividad en un espacio demasiado grande, o en sectores donde parte de la cuadrilla quede oculta, este tipo de medición no funcionará. En cualquiera de los dos últimos casos, se recomienda recurrir al método del nivel general de actividad, pero aplicado a una cuadrilla puntual.

Tabla 4.11. Formato para la toma de datos de mediciones de actividades puntuales y carta de balance

n.º	Obrero 2	Obrero 3	Obrero 4	Obrero 5	Obrero 6	Obrero 7	Obrero 8	Obrero 9
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								

NOTA: Es importante definir las categorías que se medirán antes de iniciar la medición.

Medición de *encofrado metálico*:

A: colocar planchas; B: colocar pines; C: colocar maderas de base; D: colocar alineadores; E: transportar las piezas; F: esperas; G: mediciones; H: recibir instrucciones; I: aplomar; J: trabajo no contributorio; K: otros trabajos contributorios. Cada minuto se tomará una medición en donde se documentará lo que está haciendo cada obrero que compone la cuadrilla. Es decir se le asignará a cada obrero una letra correspondiente a la categoría de trabajo que realiza. Esta información se procesará y se obtendrán los valores porcentuales que ocupa en el tiempo cada una de las categorías. En cuanto al número de mediciones necesarias, de acuerdo con Serpell (1993) es necesario conducir 384 mediciones para que estas sean estadísticamente válidas. Se recomienda consultar la referencia mencionada para la sustentación matemática del número de mediciones mínimas necesarias.

**Tabla 4.12. Ejemplo de formato de ingreso
de información en la mediciones**

NOMBRE DE LA ACTIVIDAD: Vaciado de concreto losa inferior y cimentación

COMPONENTES DE LA CUADRILLA (número y categoría):

Vaceado:		Acabado Pulido	
1	Op. vibrador	6	Operaciones albañiles
1	Of vibrador		
<u>6</u>	Peones boggies		
8			

HERRAMIENTAS Y EQUIPOS:

2 vibradoras eléctricas
Reglas de albañilería
Badilejos
Mixer Unicon (sin bomba)
Tablones para el camino de boggies
6 boggies

PROVEEDORES:

Cuadrillas de encofrado

CLIENTES:

Cuadrillas de desencofrado

INSUMOS:

Concreto premezclado Unicon: $a/c= 0.5$, tipo V, con Fibermesh

PRODUCTO:

Losa inferior y cimentación de muros

DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL MÉTODO:

- 1.- El vaceado es sin bomba. Se hace camino de tablones sobre el acero de losa para el paso de los boggies.
- 2.- Por un espacio dejado en la malla de acero vertical, entra el chute del mixer y se comienza el vaceado.
- 3.- Se llenan los boggies, pasan el camino de tablas, vacean y regresan por otro camino para no bloquearse.
- 4.- Los albañiles le dan el acabado a las los muros y a las losas.

///...

Continuación Tabla 4.12.

	Tiempo hr	Recurso HH	Avance (m3)	Rendimiento (HH/m3)	Velocidad (m3/hr)
Rend. de 4 mixers	4	32	30	1.07	7.50
Rend. instant. de 1 mixer	0.83	6.67	8	0.83	9.60
Rend. promedio del día	10.00	80.00	65.5	1.22	6.55

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES:

Se considera:

TP: Vaceado de concreto, vibrado, regleado de concreto, acabado de muros, lampeado de concreto.

TC: Transporte de concreto, viajes de *boogies* vacíos.

TNC: Esperas y tiempos muertos.

Para el rendimiento se tiene en cuenta la gente de vaceado. Los albañiles de acabado son de la partida de acabado de losa.

El trabajo contributorio es elevado debido al transporte continuo de concreto y regreso de *boogies* vacíos, necesarios al no usar bomba. De todas maneras, es más económico que usar bomba.

La mayor parte del trabajo no contributorio se debe a esperas de los *boogies* para recibir concreto.

Para mejorar el rend. se tendría que reducir estas esperas.

Se puede apreciar que se tienen diferencias en el promedio diario, el rend. para 4 mixers y el rend. instantáneo.

Gráfico 4.11. Ejemplo de medición: Utilización del tiempo en cuadrillas puntuales

PARTIDA : Vaceado de Concreto Losa Inferior y Cimentación

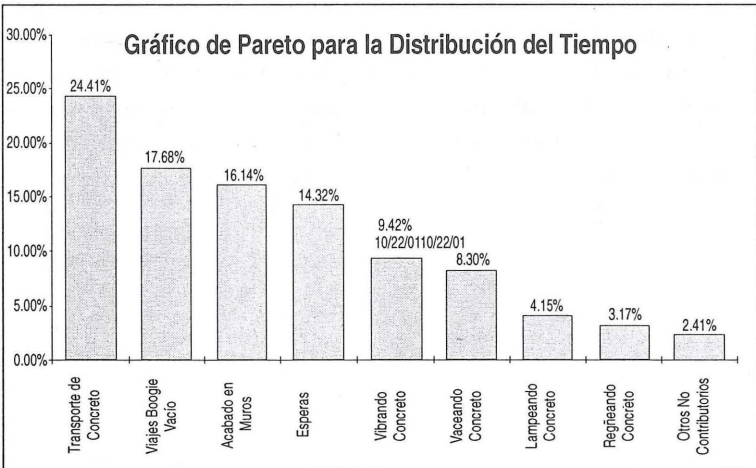
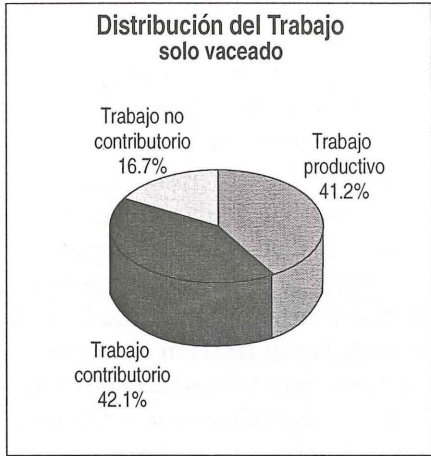
Fecha: 5/28/00

Actividad	Promedio cuadrilla
-----------	--------------------

A	Otros No Contributivos	2.41%
B	Viajes Boogie vacío	17.68%
C	Transporte de Concreto	24.41%
D	Vaceado Concreto	8.30%
E	Vibrando Concreto	9.42%
F	Regleando Concreto	3.17%
G	Acabado en Muros	16.14%
H	Lampeando Concreto	4.15%
I	Esperas	14.32%

t total de la actividad	100.00%
t que el recurso trabaja	83.26%
t que el recurso esta presente	100.00%

Trabajo productivo	41.17%
Trabajo contributorio	42.09%
Trabajo no contributorio	16.74%



4.2.9. Flujo de información del sistema CVG

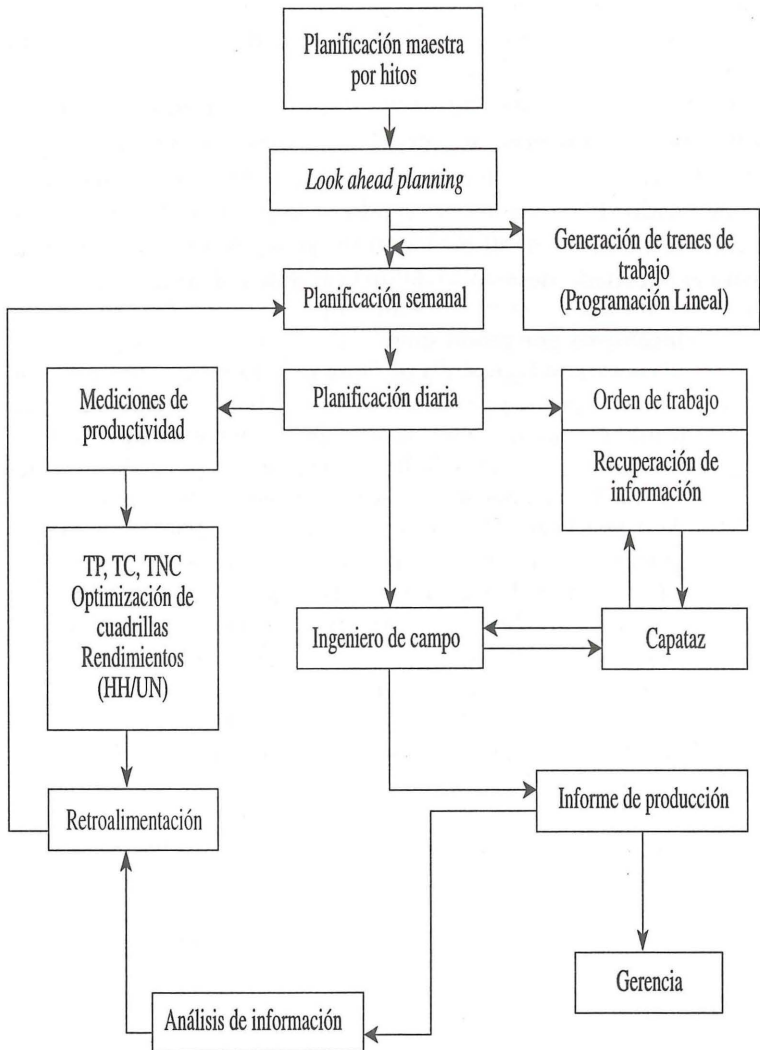
La gestión de operaciones de obra se inicia con la *planificación maestra por hitos*. En base a esta planificación preliminar, se inician los trabajos para desarrollar el *look ahead planning* y la programación de los trenes de trabajo. Este trabajo preliminar debería realizarse, de preferencia, antes de iniciar los trabajos en terreno.

Posteriormente, se trabaja con las planificaciones semanales y las planificaciones diarias. Estas están orientadas a la gestión de trabajo mismo, por lo que deben ser procesadas en paralelo con el trabajo físico del terreno. Las planificaciones semanales se desprenden de la planificación general por hitos, y a su vez, las planificaciones diarias se desprenden de la planificación semanal.

La información recorre dos flujos. El primero es el de la oficina técnica a terreno, a través de las órdenes de trabajo y la recuperación de la información de terreno (de los volúmenes de trabajo efectivamente realizados con el consumo de mano de obra en cada caso). El segundo es que la información obtenida de las mediciones de terreno, particularmente en lo que refiere a los rendimientos directos del trabajo, se reintroduce en los cálculos de las planificaciones diarias, de forma que se ajuste el consumo de mano de obra y así trabajar en un círculo de mejoramiento continuo.

Finalmente, la información de los dos círculos de información se refleja en los informes de producción preparados tanto para la gerencia de la empresa como para la dirección de la obra.

Gráfico 4.12. Flujo de información del sistema CVG



4.2.10. *Uso de incentivos en el nivel del obrero*

El uso de incentivos presenta una serie de posibilidades para todos los gustos. Sin embargo, los autores consideran que, sea cual sea el estilo preferido del uso de incentivos para mejorar la producción que el usuario desee incorporar en su empresa, los incentivos deben ir necesariamente unidos al cumplimiento de la planificación. Se debe tener especial cuidado con los incentivos relacionados únicamente a la producción puntual de una cuadrilla. El resultado general de este tipo de incentivos es perjudicial para el adecuado desarrollo de una obra de construcción.

Incentivos por producción

Al capataz de la cuadrilla de fierro se le ha venido ofreciendo un incentivo por su producción sobre la base de su rendimiento semanal. El capataz es bastante eficiente en su trabajo y por lo general logra rendimientos de fierro superiores al promedio de la industria. El rendimiento promedio obtenido en fierro es del orden de 0.04 HH/kg. Ahora, como el capataz funciona en razón del incentivo por producción, protege su producción promedio diaria. Es decir, si la planificación dicta que ese día la cuadrilla de fierro debe habilitar y colocar sobrecimientos (fierro de 3/8" con una baja cuantía), el capataz decide *cabecear* su producción con algunas columnas y vigas de fierro grueso para mantener su rendimiento en 0.04 HH/kg, pese a que estos elementos no se encuentran dentro de la planificación diaria. Al final del día, el rendimiento de la cuadrilla de fierro se mantiene en 0.04 HH/kg, pero generando el siguiente efecto: atraso en la cuadrilla de encofrado de sobrecimientos, atraso en la cuadrilla de vaciado de concreto de sobrecimientos, atraso de la cuadrilla de relleno, atraso de la cuadrilla de falsos pisos, etc. etc. Es decir, el incentivo de fierro logró mantener el cumplimiento del rendimiento de fierro, pero generó tres días de atraso en todas las otras actividades de la obra. Debemos cuestionarnos si es que debemos considerar este tipo de capataces como buenos, y si es que los incentivos de producción sirven o no.

4.3. *Requisitos por cumplir para la aplicación del sistema CVG en empresas constructoras*

4.3.1. *La importancia del conocimiento*

El manejo del conocimiento es primordial en estos días de cambio vertiginoso. El tipo de profesional que aprendía gran parte de lo que necesitaba a través de su experiencia en terreno es actualmente una especie en extinción. A principios del siglo XXI, es impensable esperar que la velocidad de aprendizaje que implica la experiencia pura sea suficiente para que nuestras empresas subsistan. Es imprescindible que nuestros profesionales manejen el conocimiento, que por lo demás, se encuentra disponible en libros, artículos y, obviamente, a través de Internet.

El conocimiento debe ser reconocido por la empresa como la fuente y razón de ascenso dentro de la misma. Si nuestro discurso indica a nuestros profesionales que el conocimiento es el camino a seguir, pero en la práctica los sueldos y los ascensos van de acuerdo con los años que llevan nuestros profesionales en la empresa, estaremos dando mensajes equivocados y perdiendo la ventaja que nos daría el conocimiento en nuestra compañía.

El aporte de la gerencia en el siglo XXI

Peter Drucker, en su libro titulado *Los desafíos de la gerencia para el siglo XXI*, sostiene que el gran aporte de la gerencia en el siglo XX ha sido aumentar la productividad de la mano de obra en un orden de magnitud de 50 veces. Por otra parte, sostiene que el reto de la gerencia para el siglo XXI será multiplicar la eficiencia del *knowledge worker* también en un orden de magnitud de 50 veces, donde *knowledge worker* se define como el trabajador que maneja el conocimiento. El manejo del conocimiento a principios del siglo XXI es fundamental para poder subsistir en un mundo de cada vez mayor competencia. Si embargo, no solo es

importante manejar el conocimiento, sino transmitirlo hacia dentro de la empresa y hacer que éste logre los índices de mejoramiento de la productividad que menciona Drucker en nuestros propios *knowledge workers*.

4.3.2. El agente del cambio

En cualquier publicación que se refiera a cualquier tipo de cambio o implementación de una nueva tecnología o filosofía, se recomienda que exista un agente de cambio, un *campeón* como lo definen en algunas publicaciones. Si bien esto es absolutamente cierto, de acuerdo con nuestra experiencia, uno de los casos más frecuentes de fracaso en la implementación de nuevas filosofías es que la gerencia pretende que todos evolucionen menos ella misma. Es decir, la gerencia reconoce la necesidad de un cambio y que su performance ha decrecido notoriamente en los últimos años. Incluso reconoce que se requiere de un cambio importante en la forma en que se están manejando sus negocios. Sin embargo, cuando hay que implementar la nueva estrategia o filosofía, esta es siempre asignada a profesionales de segundo nivel. Lo más probable es que, en este caso, la iniciativa haya nacido muerta, por lo que no tendrá ninguna posibilidad de éxito.

En principio, el agente del cambio debería ser el gerente general y, de preferencia, el dueño de la empresa. Respuestas al cambio como aquellas de *no tengo tiempo* o que *la gerencia está demasiado ocupada con otros menesteres* son quizás la razón por la cual los índices de rendimiento de las empresas han decaído en los últimos años. En la actualidad, no querer aceptar el cambio como una necesidad imperiosa de las empresas es simplemente una excusa que costará muy caro en el futuro.

Por todo esto es imprescindible que el agente de cambio absorba (al derecho y al revés) la filosofía necesaria para impulsar el cambio. Adicionalmente, el agente del cambio deberá entrenarse

en el correcto uso de las herramientas a través de las cuales se manifestará el cambio. Pese a que es necesario que las dos premisas se den, el agente del cambio no podrá manejar el cambio si es que no cree en la filosofía que sustenta el cambio en el nivel de una religión.

Una vez que el agente del cambio maneje a profundidad la filosofía y las herramientas del cambio, el paso siguiente es lograr que la segunda línea de mando asuma esa misión como propia. Los gerentes de área, los ingenieros superintendentes de varias obras y en general los profesionales que se encuentren en posiciones gerenciales entre la gerencia general y los ingenieros de campo deberán ser los *conversos fieles* a la nueva filosofía.

Hemos sido informados que, en algunas empresas locales, los procesos de cambio (desde el primer contacto con la innovación hasta la introducción de cambio en el ámbito de la *cultura* de la empresa) es del orden de siete años o más. La capacidad, el conocimiento y la experiencia en la implementación de innovaciones y mejoramientos del agente del cambio así como la flexibilidad de la empresa son fundamentales para que este período de asimilación de la tecnología sea menor al período mencionado. Considerando las características de globales en la cuales nos movemos actualmente, debemos mejorar esto tiempo de asimilación de nuevas tecnologías a plazos del orden de *seis meses a un año*.

4.3.3. *Transmisión del conocimiento a terreno*

Para que la nueva filosofía y sus herramientas lleguen a terreno y se apliquen efectivamente es necesario que los superintendentes y gerentes de área sean los encargados (bajo la supervisión del agente del cambio) de implementarlas. La introducción en terreno deberá ir acompañada de cursos y de un manual de procedimientos que sirva de guía para el cumplimiento en el uso de las herramientas para el aumento de la productividad.

Finalmente, es importante que los superintendentes o gerentes de área cuenten con una lista de los puntos que deberán verificar en terreno cada vez que realicen una visita al mismo. Es común que este nivel de profesional, durante sus visitas a obra, dé una vuelta por la obra y revise el último informe financiero. Es necesario involucrar a todos en el manejo optimizado de la obra y que, principalmente, la gerencia sea quien resguarde el correcto uso de las herramientas entregadas a través de lo que pida a sus ingenieros. Es necesario guardar una congruencia entre el discurso y lo que realmente se solicita y se evalúa.

4.3.4. Cómo lidiar con el exceso de gente

Por lo general, y de acuerdo con los resultados observados en la investigación de campo presentada en el capítulo 2 de este libro, es muy posible que nos encontremos con algún exceso de personal obrero y administrativo de obra. El sistema de gestión operacional propuesto facilita el manejo de la obra y, por ende, tiende a reducir el personal obrero. En principio, lo que se logra es optimizar nuestra producción, tratando de apuntar a estándares internacionales. En el corto plazo, parecería indicar que esta política de reducción de personal generaría una reducción en la oferta de empleo. En el largo plazo, sin embargo, la capacidad de nuestras empresas de hacer sus obras con máxima eficiencia generará la construcción de más obras, lo que necesariamente redundará en más empleo. Adicionalmente, al mejorar los niveles productivos de nuestras empresas así como de nuestros individuos motivará (en una economía creciente) el incremento de los sueldos. Es un camino largo y duro por recorrer, pero lo cierto es que en la actualidad no hay muchas alternativas posibles para subsistir en las condiciones de mercado globalizadas.

4.3.5. *Unir compensación económica a las utilidades*

Si bien se ha indicado a lo largo de este libro cuáles son los principios básicos de la filosofía de producción así como las herramientas necesarias, por lo general todo el esfuerzo de optimización de la productividad difícilmente funcionará a cabalidad si es que este no está relacionado con la compensación económica de nuestros profesionales. Debemos asegurarnos que los beneficios de la productividad lleguen y se compartan a lo largo de la empresa. El caso de los incentivos a los obreros ya ha sido comentado en secciones anteriores. En el caso de los profesionales de obra, aparte del entrenamiento y de la filosofía que se les transmite, deben obtener parte de los beneficios de la optimización, en recompensa por su esfuerzo y dedicación. Hemos aplicado diferentes esquemas de compensación a nuestros profesionales. Uno de los que más hemos usado está basado en otorgar un porcentaje importante de la sobreutilidad obtenida sobre la base del ahorro por mejoramiento de la productividad, además de un premio sobre la utilidad obtenida dentro de los límites establecidos en el presupuesto original.

Observamos en muchos casos cómo los profesionales de obra pierden oportunidades de mejoramiento y ahorro. En proyectos de varios millones de dólares, ahorros de unos pocos cientos o miles de dólares se suelen despreciar (sin considerar que la construcción es la suma de una serie de costos, cada uno pequeño por sí solo). El sistema de incentivos propuesto inyecta en el profesional la urgencia del ahorro, ya que, de no hacerlo, muy posiblemente este no-ahorro salga de su premio de obra. De esta forma se genera la misma urgencia que siente el dueño de la empresa en ahorrar y optimizar en todo lo que pueda. Es decir, *fomenta la visión empresarial dentro de nuestros profesionales*. Solo cabe recalcar que los ahorros a los que nos referimos están basados en la optimización de nuestros procesos y en la gestión de operaciones de los mismos. Tal proceso requiere

de trabajo, esfuerzo, conocimiento, rigurosidad, por lo que debería ser compensado por la empresa.

Esquema de remuneraciones y participación en función del conocimiento

En la empresa de nuestra propiedad, los ingenieros tienen cinco escalas de sueldos que van directamente relacionadas con su capacidad de manejo del sistema CVG. La primera es la del *practicante*, período de prueba al que se le somete al recién egresado de la universidad. Su ascenso a la siguiente escala de sueldo está relacionado con su aprendizaje del sistema CVG, de forma que sean capaces de encargarse de la gestión operacional de obras pequeñas por sí solos. Esta posición es la de *ingeniero asistente*. Una vez que el ingeniero asistente desarrolla su manejo y comprensión de nuestros sistemas en los niveles superiores, se le designa como *residente junior*. Para pasar a la siguiente escala, de *ingeniero residente*, nuestros profesionales deben manejar, además del sistema, aspectos de logística, manejo financiero y manejo contractual de proyectos. Finalmente, para pasar a la siguiente escala, nuestros ingenieros deben potenciar el conocimiento de la empresa mediante estudios de maestría en el exterior. Cuando regresan asumen la posición de *residentes senior* y se convierten en socios de la empresa.

4.3.6. Mejorar a los proveedores y subcontratistas: el siguiente paso

Si bien es necesario que el cambio parta de nosotros mismos en el proceso de optimización de la productividad, llegaremos rápidamente a chocar con las fronteras de nuestros propios subcontratistas. Dependiendo del tipo de obra, el porcentaje de subcontratos especializados puede llegar a ser alto con respecto del trabajo que realiza directamente el contratista principal.

El siguiente paso, por tanto, es entrenar y transmitir los conceptos y la filosofía de nuestras propias empresas a nuestros sub-

contratistas y proveedores. Ya sea en caso que un alto porcentaje de la obra sea manejado por subcontratos, o que este porcentaje sea menor, siempre limitará nuestro esfuerzo de optimización. Para seguir avanzando en nuestro proceso de optimización, debemos hacerlo en ese porcentaje, sea cual fuera, que es manejado por nuestros subcontratistas.

Adicionalmente, en lo que se conoce como *project management*, el contratista general asume el rol de gerente de proyecto y subcontrata prácticamente todo el trabajo de la obra. En este caso, es aún más importante entrenar a los subcontratistas en la filosofía y las técnicas de mejoramiento de la productividad.

5. UNA VISIÓN DE FUTURO DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ

Autor invitado: Dr. Leonardo Rischmoller¹¹

A lo largo de los capítulos anteriores se han presentado técnicas modernas de gestión de producción y propuestas concretas para iniciar el proceso de cambio y mejoramiento de la productividad y eficiencia de la industria de la construcción en el país. En este capítulo presentaremos algunos temas que son necesarios, no como complemento, sino como requisito indispensable, un esfuerzo paralelo para poder tomar verdadera ventaja de las herramientas de gestión de producción presentadas a lo largo de este libro y emprender el cambio propuesto. El cambio es un tema central en este libro, pero también es una realidad que el mundo vive cotidianamente. Los avances en las computadoras y en las comunica-

¹¹ El Dr. Leonardo Rischmoller es peruano, ha conducido su doctorado en Ingeniería y Gestión de la Construcción en la Pontificia Universidad Católica de Chile. Actualmente, trabaja con Bechtel Chile. El Dr. Rischmoller es uno de los profesionales con mayor experiencia y conocimiento en la aplicación de sistemas de CAVT (*Computer Aided Visualization Tools*) e ITC (*Information Technologies in Construction*) en megaproyectos de construcción en todo el mundo.

ciones son dos de los componentes principales del cambio tecnológico que presenciamos hoy en día a nuestro alrededor. Las computadoras y comunicaciones están relacionadas principalmente con información que es creada, distribuida, procesada y almacenada. La *tecnología de la información* (TI) emerge en este contexto como una disciplina que cobra cada vez más importancia en los tiempos de cambio en que vivimos y se convierte en un contenido central de cualquier actividad humana.

El tema central de este capítulo será la visión del futuro inmediato en el esquema de mejoramiento continuo, y dentro de esta visión de futuro se presentarán herramientas específicas que la TI pone y pondrá a nuestra disposición, como herramientas clave para llevar a cabo el proceso de cambio. Las herramientas que se presentarán guardan relación con la innovación continua. Es intuitivamente obvio que la innovación crea un monopolio natural y confiere una ventaja competitiva substancial. Esa es la razón por la que el mejoramiento continuo sin innovación continua es de corto plazo (Barker 2000). Todos reconocen los beneficios económicos de relaciones de negocios predecibles y de largo plazo dentro de la industria de la construcción, y todos buscamos formas de conseguir lo mismo. El enfoque sobre el uso de las herramientas específicas de las TI que se presentarán en este capítulo se basa en una visión de largo plazo.

Son numerosas las herramientas que las TI pone a disposición de la industria de la construcción. Entre ellas podemos mencionar algunas como: Internet, *e-mail*, sistemas y redes de información, bases de datos computacionales, sistemas de gestión de documentos, robótica y sensores remotos. Todas estas herramientas no son de exclusividad de la industria de la construcción, sino que pueden encontrarse en casi cualquier actividad productiva como tecnología de punta. La descripción, forma de uso, y beneficios que estas herramientas pueden brindar a la construcción demandaría más que un capítulo de un libro. Además, al ser co-

munes a múltiples actividades productivas no es difícil encontrar literatura general al respecto. Todas estas herramientas no serán abordadas en este capítulo del libro, pero eso no significa que por ello sean menos importantes. Es más, estas herramientas constituyen un requisito indispensable dentro de cualquier estrategia de aplicación de TI a una empresa, si se quiere aprovechar los elementos que han sido identificados como claves dentro del contexto de cambio y mejoramiento de la productividad en obras de construcción que se presentarán en este capítulo.

Las herramientas provistas por las TI, que han sido identificadas como herramientas clave dentro del contexto de cambio y mejoramiento de la productividad en obras de construcción, son aquellas que están relacionadas con la representación visual de la información. Esta representación es principalmente acerca de la geometría del proyecto a construir, pero también información de otro tipo (*i.e.*, especificaciones, presupuestos, programas, etc.). Por siglos la esencia de la industria de la construcción ha sido tratar de replicar una realidad futura inexistente de modo que pueda convertirse, a través de distintas etapas y procesos, en una realidad física existente. Para ello nos hemos basado principalmente en maquetas y planos que contenían la información sobre la geometría de la obra, y alrededor de los cuales se habían desarrollado procesos y sistemas de información de diversa complejidad que han permitido el desarrollo de las obras de ingeniería que conocemos hoy en día.

El avance de las TI en lo relacionado con la computación gráfica proporciona un conjunto de herramientas que permiten la representación visual no solo de los productos de la industria de la construcción, sino también de los procesos de construcción. Actualmente, estas herramientas están constituidas principalmente por sistemas CAD (*Computer Aided Design*), pero vemos como la evolución de estos sistemas esta dando paso a lo que han identificado y denominado CAVT (en inglés *Computer Advanced Visuali-*

zation Tools) o herramientas avanzadas de visualización computacional (Rischmoller *et al* 2000b). El impacto que la aplicación de CAVT está teniendo en la industria de la construcción, a través de empresas líderes en el ámbito mundial, está generando un cambio sin precedentes en la forma de desarrollar proyectos de ingeniería y construcción. Lejos de constituir una tecnología que por su complejidad y costo se presente como inalcanzable, la aplicación de CAVT a la industria de la construcción demanda de inversiones moderadas y bajo grado de complejidad. El principal recurso para la utilización de CAVT lo constituye el conocimiento. No solo de los aspectos operativos de los sistemas sino además de las posibilidades y demandas en la gestión y organización, necesarias para poder aprovechar esta tecnología. CAVT y su relación con temas como *lean production* y constructabilidad son presentadas en este capítulo del libro dentro del marco de mejoramiento e innovación continua para el mejoramiento de la eficiencia y productividad en obras de construcción.

5.1. Introducción a la tecnología de la información en la industria de la construcción

A pesar de que las obras de construcción son productos que pueden medirse, por ejemplo, en kilómetros o toneladas, la cantidad de información que se manipula durante el tiempo de vida de un obra de construcción es enorme. Esto es particularmente cierto en las etapas iniciales de un proyecto, como el diseño preliminar y el diseño detallado, en donde el trabajo gira prácticamente solo en torno a información (*i.e.*, desarrollo de planos y especificaciones). Durante la etapa de construcción, sin embargo, a pesar de que se intensifica un proceso material de transformación de insumos en un producto terminado, también existe una gran cantidad de información que necesita ser procesada y manipulada, y se constituye así un proceso de información que

sirve de soporte a los procesos materiales. Estos procesos de información durante la etapa de construcción involucran, por ejemplo, la planificación, la programación, las instrucciones, la lectura de planos, etc.

Los procesos de información en la industria de la construcción son abordados actualmente por las TI. Es difícil dar una definición precisa de lo que es las TI, pero podríamos esbozar que las TI es un conjunto de otras tecnologías que sirven para crear, recolectar, almacenar, recuperar y comunicar información. El uso de la tecnología de la información (TI) en la industria de la construcción brinda una nueva generación de herramientas que son de gran ayuda en la reducción de la complejidad e incertidumbre que imperan en el desarrollo de proyectos de construcción. Las computadoras personales para todos los propósitos son la corriente principal de las TI actualmente. Los nuevos medios digitales reducen los esfuerzos involucrados en la generación de información, en contraposición al tradicional enfoque basado en documentos escritos (o dibujados) sobre papel, el cual causa trabajo traslapado, repetitivo, propenso a error y que no añade valor. Lo mismo ocurre con la recolección, almacenamiento, recuperación y comunicación de la información y por lo tanto con la diseminación del conocimiento adquirido (Rischmoller *et al* 2000).

Las TI utilizadas por la industria de la construcción actualmente son numerosas. Desde máquinas de fax hasta comunicaciones vía Internet, desde software de automatización para la oficina hasta aplicaciones CAD (*Computer Aided Design*) avanzadas, desde la adquisición de datos utilizando computadoras portátiles hasta la adquisición de datos utilizando sensores láser automatizados; todas estas tecnologías están relacionadas con la información en la industria de la construcción (Rischmoller *et al* 2000a). El estudio de la aplicación de la tecnología de la información en la industria de la construcción es, sin embargo, aún un campo de

investigación bastante joven que lucha por definir su lugar dentro de la gran familia de disciplinas académicas (Bjork 99). Y son pocas las empresas en el mundo que están tratando de aprovechar en la práctica, de forma coherente y ordenada, el enorme potencial que ofrece las TI a la industria de la construcción.

Desde el punto de vista de la productividad y a la luz de los principios de la nueva filosofía de la producción (*lean production*) el impacto de las herramientas que brinda las TI es inmenso en lo que se refiere al mejoramiento de la eficiencia y productividad de las actividades que agregan valor y en la reducción y/o eliminación de las actividades que ocasionan pérdidas.

5.2. Herramientas específicas proporcionadas por las TI a la industria de la construcción

5.2.1. Computación gráfica en la industria de la construcción

Desde tiempos inmemoriales, los humanos hemos empleado gráficos para transmitir información conceptual y emocional. El cerebro humano y la corteza visual son capaces de procesar grandes cantidades de datos visuales y pueden reconocer y extraer información útil de estos datos, en forma rápida y eficiente. Estudios han mostrado que aproximadamente 80% de nuestra información externa la recibimos en forma visual (Intergraph 1998).

Los procesos de información en la industria de la construcción son variados, pero un tema central a todos ellos lo constituye la representación y manipulación de la información acerca de la geometría de la obra que se desea construir. La etapa de diseño de cualquier proyecto produce documentos de variados tipos (i.e., especificaciones técnicas) pero principalmente produce información gráfica, mayormente en forma de planos que comunican las características del producto diseñado que se desea construir. La

etapa de construcción hace uso intensivo de la información gráfica producida en la etapa de diseño y se basa en ellos para producir otro tipo de información como planes, programas, ordenes de trabajo, etc.

El avance en la computación gráfica permite crear hoy en día las más sofisticadas, realistas y fantásticas imágenes en dos y tres dimensiones, utilizando sistemas computacionales gráficos. Herramientas CAD (*Computer Aided Design*) avanzadas, animaciones y multimedia están siendo utilizadas con éxito en simulaciones de vuelos militares y comerciales, la industria del entretenimiento, investigación medica, marketing y otros campos. La industria de la construcción está comenzando a aprovechar las ventajas de estas herramientas, en especial los proyectos industriales de construcción en su etapa de diseño, los que por su complejidad y alto costo han sido los primeros en asimilar los avances que la computación gráfica proporciona hoy en día.

Dentro de la computación gráfica, el desarrollo de los sistemas CAD es lo que ha permitido y permite hoy en día, aprovechar el uso de esta en el desarrollo de proyectos de ingeniería y construcción. En los acápite siguientes veremos cómo la evolución de estos sistemas está transformando dramáticamente la forma de llevar a cabo proyectos de ingeniería y construcción.

5.2.2. *Reseña histórica del desarrollo de sistemas CAD*

Un sistema CAD es un programa de computación bastante grande, escrito en algún lenguaje de programación como C o C++, cuyo tamaño puede variar de 30,000 líneas de código de programación hasta millones de líneas. Un sistema CAD sirve básicamente para realizar representaciones geométricas asistidos por una computadora. Estas representaciones van desde simples líneas hasta complejos modelos tridimensionales. Inicialmente los sistemas CAD no eran diferenciados y eran vendidos en todos los merca-

dos que tenían que desarrollar planos, como la electrónica, la manufactura, la construcción de edificaciones, plantas petroquímicas, caminos, etc.

El crédito por el desarrollo del primer sistema interactivo CAD pertenece a Ivan Sutherland, quien en 1963 desarrolló un hardware gráfico especial y un programa llamado *Sketchpad* como parte de su tesis de doctorado (PH. D.). Sutherland concibió *Sketchpad* como un asistente de dibujo que permitía realizar dibujos mediante el trazo y conexión de líneas que servían para construir patrones geométricos.

La tesis de Sutherland introdujo una nueva generación de tecnología para el soporte de el diseño y la fabricación. Sin embargo, tomó seis años desarrollar las tecnologías que permitirían al CAD convertirse en una herramienta de producción. Recién en 1969 *Computervision Corporation* construyó y comercializó el primer sistema CAD comercial, un sistema para dibujar planos definidos por comandos de texto y mostrados a través del uso de un *plotter*. Este sistema corría sobre una de las primeras mini-computadoras. En 1970, con la introducción del monitor de tubo de rayos catódicos (CRT), nuevas compañías comenzaron a formarse mensualmente: Applicon, Calma, Autotrol, Intergraph, CADAM y otras. En términos de la atención de los medios y entusiasmo empresarial, el surgimiento del CAD en los años 70 fue similar al surgimiento de la computadora personal en los años 80 y las tecnologías multimedia en los años 90.

Hasta los años 80 los sistemas CAD fueron desarrollados para minicomputadoras o *mainframes* y los principales sistema operativos disponibles eran Unix o VMS. El precio de una estación de trabajo para correr un sistema CAD no era inferior a US\$ 30,000 y se necesitaban operadores especiales para hacer funcionar los sistemas.

Con el surgimiento de la computadora personal (PC) se desarrollaron sistemas CAD sencillos. Al principio, las capacida-

des de estos sistemas eran mínimas y eran incapaces de incluir aquellas que eran consideradas necesarias para un sistema CAD efectivo. Sin embargo, la reducción de costo fue dramática. Algunas compañías comenzaron a desarrollar software CAD para las computadoras IBM PC y Apple Macintosh, incluyendo a Autodesk, VersaCad, Summagraphics, Microstation y otras. En un comienzo estos sistemas eran limitados, con gráficos pobres, poca capacidad de almacenamiento y poca velocidad. Con la introducción del chip Intel 80386 y los monitores Macintosh al final de los años 80, el CAD de escritorio resulto asequible por aproximadamente US\$ 5,000. Con la disminución del costo de los sistemas CAD, se produjo la explosión de su mercado potencial.

Hoy en día las capacidades de los sistemas CAD están disponibles a cualquiera con acceso a una PC. Con los avances tecnológicos en el área de las computadoras, muchas de las limitaciones para el uso de los sistemas CAD ha desaparecido. Los costos son cada vez mas bajos y la velocidad y versatilidad de los sistemas cada vez mayores.

5.2.3. *Visión general de los sistemas 2D CAD*

En la industria de la construcción, las técnicas para el dibujo de planos en dos dimensiones (2D) han sido desarrolladas a tal punto que es el método utilizado mas comúnmente para comunicar información acerca de objetos que se diseñan y después deben ser construidos. Un objeto tridimensional (3D) puede ser representado en una superficie plana mediante perspectivas, isométricos y otros métodos.

Los sistemas 2D CAD permiten realizar la tarea de representar elementos geométricos en forma bidimensional, utilizando como herramienta principal la computadora. Los sistemas 2D CAD ofrecen muchas ventajas en la industria de la construcción.

La productividad, calidad y precisión en el trabajo de dibujo de planos aumenta considerablemente. La facilidad de la edición en el dibujo de planos que emplea sistemas 2D CAD versus el uso del tradicional tablero de dibujo ofrece una nueva dimensión al desarrollo del proceso de diseño: la facilidad de editar y visualizar la información geométrica en la pantalla de una computadora. El almacenamiento y transporte de planos mediante sistemas 2D CAD también experimentan grandes mejoras al realizarse utilizando medios magnéticos (i.e., diskettes) y/o digitales (i.e., Internet) y se extienden los beneficios de la etapa de diseño a las etapas de abastecimiento y construcción.

Sin embargo, a pesar de todas las ventajas mencionadas, sean hechas las representaciones bidimensionales en forma manual o con la ayuda de una computadora, presentan la limitación inherente que consiste en la necesidad de consultar dos o más planos varias veces y combinar la información en la mente de las personas, antes de poder tener un entendimiento de la información tridimensional que se pretende transmitir bidimensionalmente. Esto no solo produce una duplicación de esfuerzos, sino que introduce posibilidades de error debido interpretaciones incorrectas, incompletas o distintas de los planos 2D. Además, así como en un cuadro colgado en una pared, la única forma de ver los objetos ocultos o cambiar nuestro punto de vista de una imagen 2D es volviendo a dibujar esta imagen completamente.

Los sistemas 2D CAD son esencialmente tableros electrónicos de dibujo donde los profesionales y dibujantes pueden crear planos con una muy alta precisión y rapidez. El alcance de una estrategia de TI no puede limitarse a un tablero de dibujo. Como veremos en el siguiente acápite, las ventajas ofrecidas por los sistemas 2D CAD resultan irrisorias si se comparan con las ventajas ofrecidas por los sistemas 3D CAD.

5.2.4. *Visión general de los sistemas 3D CAD*

El ambiente en una obra de construcción esta constituido por objetos de tres dimensiones. El uso de modelos 3D es la forma más completa de transmitir información acerca de algo que se desea construir. Antes de la existencia de la computadora la única opción para crear representaciones 3D era construir replicas de la estructura 3D a diferentes escalas. Hay una larga historia acerca de modelos físicos usados para impresionar, persuadir y explicar a los clientes el diseño propuesto por un arquitecto. Durante el renacimiento los arquitectos creaban modelos detallados de iglesias con piezas que se abrían girando alrededor de bisagras para revelar el interior de las mismas. Durante la época de los incas, los métodos empleados al efectuar las obras estatales contemplaban la realización de modelos 3D hechos de barro. Cuando el ejercito conquistaba una región, personas calificadas preparaban modelos de la zona y los presentaban al Inca para proceder a señalar los cambios que se harían; luego eran entregados a los encargados de ejecutar las órdenes del soberano (Rostorowski p.81). Sarmiento de Gamboa (1943, cap. 39), Betanzos (1968, cap. 10) y Garcilaso (1943, t.1, lib. 2, cap. 37) mencionan la práctica, que tenían los Incas, de confeccionar maquetas de barro de los edificios y de los valles antes de iniciar trabajos de envergadura.

Los modelos 3D CAD son una nueva creación de la electrónica avanzada. Existen hace solo unas pocas décadas y mucha gente tiene poco entendimiento del significado de 3D CAD, aun cuando estos modelos son frecuentes de ver en las películas y en la televisión. La principal diferencia entre los sistemas 2D y 3D CAD radica en que con la utilización de los sistemas 3D CAD no se dibuja absolutamente nada. El trabajo mediante un sistema CAD involucra el modelado tridimensional de elementos dentro de una computadora. Los elementos modelados por un sistema CAD dentro de una computadora ofrecen prácticamente las mismas venta-

jas que los modelos físicos, pero también presentan algunas diferencias.

A diferencia de un modelo físico, en que por lo general la gente puede moverse alrededor del modelo y mirar las partes que le interesan, en un modelo 3D CAD la imagen es proyectada en la pantalla de una computadora y el modelo es rotado mientras que la gente se mantiene estacionaria. El software 3D CAD permite decidir que tan cerca o lejos uno quiere ver los objetos representados. Los planos y modelos físicos que representan objetos reales usan una escala apropiada para representar una abstracción de estos. Un modelo 3D CAD dentro de un computador utiliza las dimensiones exactas con que se construirá el proyecto en la vida real. Si un edificio que se desea construir mide 20 metros de ancho, el modelo 3D CAD es dibujado de 20 metros de ancho dentro de la computadora. Por supuesto uno nunca ve una línea en la computadora que mida 20 metros, debido a que la computadora dibuja todo manteniendo siempre una determinada proporción.

Los sistemas 3D CAD utilizan tecnologías de modelado sólido electrónico, que permiten a los usuarios la creación, edición y manipulación de formas tridimensionales, en cierta manera similar al trabajo de esculpir una figura. Estas formas contienen definiciones paramétricas. Algunos ejemplos de parámetros son las tres dimensiones y localización de un cubo sólido, la localización y el diámetro de una esfera. Estos parámetros son evaluados y las figuras 3D son generadas. Además, a las figuras generadas se le pueden aplicar operaciones booleanas que incluyan la unión, intersección y substracción de elementos sólidos.

Los sistemas 3D CAD producen como resultado final un modelo electrónico del proyecto que se desea construir. A partir de este modelo, es fácil obtener el número que se desee de planos, simplemente cortando el modelo y logrando las proyecciones isométricas o perspectivas que se requiera. Los metrados de los materiales son un producto automático de los modelos 3D CAD. Y además de la rapidez en la obtención de los mismos, la precisión

no tiene punto de comparación con los metrados obtenidos por métodos convencionales. Finalmente, una ventaja muy importante de los modelos 3D CAD es que estos permiten detectar cualquier interferencia, ya se dé en forma visual o automatizada, entre los elementos que componen el modelo, con lo cual se evitan errores y problemas que puedan representar altos costos y demoras durante la etapa de construcción.

5.2.5. Sistemas 4D CAD: el paso a una nueva dimensión

Una buena estrategia de aplicación de las TI no puede comenzar y terminar solo con el diseño. Los modelos 4D (de cuatro dimensiones) llevan a la ingeniería a una nueva dimensión en que la construcción pasa a jugar un rol preponderante desde las etapas iniciales del proyecto, en un enfoque que va mas allá del tradicional enfoque de la constructabilidad.

Los modelos 4D CAD combinan modelos 3D CAD con actividades de construcción y muestran la progresión de la construcción a lo largo del tiempo (Fisher,). La cuarta dimensión la constituye así el tiempo que toma la realización de estas actividades, que sumado a las tres dimensiones espaciales de los modelos 3D nos permite la realización de modelos de cuatro dimensiones o 4D CAD. Un modelo 4D CAD es una simulación de la construcción de un proyecto o de una parte de él.

Los aspectos temporales y físicos de un proyecto de construcción están íntimamente vinculados. Los modelos 4D han existido siempre en las mentes de los participantes en proyectos de construcción, especialmente de aquellos vinculados a la etapa de construcción. Sin una representación explícita de los modelos 4D mentales, los participantes debían confiar solamente en su habilidad para interpretar programas abstractos y documentos en 2D como planos, y en el mejor de los casos modelos 3D (McKinney and Fisher 98).

La realización de modelos 4D requiere de un modelo 3D desarrollado con algún software CAD, un programa de construcción desarrollado mediante algún software de planificación y programación de proyectos (i.e., MS Project, Primavera) y un medio para vincular ambos.

Pero el requisito más importante lo constituye el conocimiento que permita a los administradores de proyectos crear y actualizar programas de construcción realistas rápidamente.

Añadiendo la variable del tiempo a la tarea de modelado, el de tipo 4D ofrece la posibilidad de visualizar el proceso de construcción. Esta característica de visualización puede ser usada para identificar cuestiones de constructabilidad y problemas de secuencia tempranamente en la etapa de diseño, y mejorar la planificación y programación de la construcción al construir la obra en forma virtual en la pantalla de la computadora (Staub *et al* 98).

Los modelos 4D reflejan la realidad de la ejecución de proyectos de construcción en una forma más cercana a cualquier enfoque actualmente en uso (Fisher *et al* 99). El conocimiento de profesionales con experiencia en construcción es introducido en los modelos 4D y usado para generar programas de construcción utilizando software computacional.

5.3. CAVT y la realidad digital

5.3.1. Computer Advanced Visualization Tools (CAVT)

Las tecnologías CAD y otras análogas (i.e., realidad virtual) y relacionadas seguirán evolucionando. El contexto original de las tecnologías CAD limitado al diseño constituye hoy solo una parte de las áreas de utilización de los sistemas CAD. Además, la interrelación de los sistemas CAD con otras tecnologías (i.e., base de datos, Internet, software especializado en visualización, software de planificación, etc.) nos lleva a la identificación de un

conjunto de herramientas en constante cambio, relacionadas principalmente con la computación gráfica, y que la tecnología de la información proporciona a la industria de la construcción. Denominaremos a este conjunto de elementos *herramientas avanzadas de visualización computacional*, en inglés *Computer Advanced Visualization Tools* o CAVT.

CAVT son definidas en un sentido amplio como herramientas clave proporcionadas por las TI, cuya principal característica es su capacidad para visualizar los fines (modelos 3D) y medios (modelos 4D) del proceso de ingeniería y construcción de proyectos de construcción. La definición de CAVT, sin embargo, involucra más características que la visualización y representación gráfica. El aspecto visual del modelado de proyectos utilizando CAVT es solo el resultado final de su utilización. La aplicación de CAVT puede llevar también a resultados como el ploteo de planos 2D, un presupuesto, unos metrados, una orden de trabajo o un ambiente de realidad virtual, cada uno proveniente de un único modelo que puede ser visualizado mediante algún dispositivo computacional. La definición de CAVT, en un sentido tan amplio, le confiere además la capacidad de evolucionar en el tiempo y no limitarse a la utilización de un sistema o software específicos.

5.3.2. *La realidad digital*

El avance de los sistemas CAD y de CAVT permite hoy en día modelar en 3D la geometría de una obra de construcción inexistente dentro de una computadora, en la que se logra un nivel de detalle y vistas realistas que algunas veces llegan a confundirse con la realidad. En adición al aspecto visual, los elementos modelados dentro de la computadora pueden contener atributos análogos a las propiedades físicas reales de la obra, tales como material, textura, peso específico y muchas otras. Los elementos de un modelo 3D pueden también estar vinculados con información re-

lacionada directamente con ellos tales como estatus de construcción, código de identificación, proveedores, etc. Los modelos desarrollados con CAVT pueden ser utilizados, por ejemplo, para realizar análisis de las estructuras mediante software especializados que reciben los modelos 3D como *input*. Todas las propiedades físicas de los modelos (dimensiones, masa, momentos de inercia, etc.) son parte inherente de los elementos que los constituyen y son introducidas automáticamente durante el modelado 3D (diseño). Adicionalmente, estos pueden complementarse con luces ambientales o luces provenientes de diferentes fuentes en distintas direcciones, que permiten visualizaciones realistas de los mismos en la pantalla de la computadora.

Todo lo mencionado en el párrafo anterior nos lleva a sostener que los modelos 3D son más que una simple representación geométrica de lo que se construirá en el futuro; más bien, en lugar ello, son capaces de llevar consigo toda la información pertinente acerca de sí mismos. Es decir, *existen* en forma digital dentro de la computadora, constituyendo lo que denominamos la *realidad digital*.

La denominación de *realidad digital* tiene implicancias que van más allá del aspecto semántico. El proceso de diseño varía: de tratar de representar el futuro mediante el uso de computadoras a la transformación de una realidad digital en un nuevo proceso de refinamiento de esta. Semejante nuevo enfoque es desarrollado concurrentemente en una dimensión digital común de colaboración y multidisciplinariedad, que persigue un diseño óptimo. La realidad digital es, en esta forma, dinámica, a diferencia de los modelos de productos 3D, los cuales son estáticos. Más aún, la evolución de CAVT lleva cada vez a simulaciones más sencillas y rápidas (*i.e.*, modelos 4D) que permiten la construcción de la realidad digital dentro de la computadora e inclusive fuera de ella, en dispositivos como la *workbench response table* en la Universidad de Stanford (Koo y Fisher 98).

Es conocido que nuestra capacidad de actuar inteligentemente en el mundo se debe a las imágenes o representaciones del mundo real que tenemos dentro de nuestras mentes. Ahora, por primera vez, estas imágenes y representaciones pueden hallarse fuera de nuestras mentes en una realidad digital que, por el hecho de poder ser compartida en forma visual, ofrece una cantidad impensable de ventajas para la realización de proyectos de ingeniería y construcción. Tal posibilidad está desatando una cantidad impresionante de cambios en la forma de desarrollar estos proyectos.

La industria aeroespacial ha tenido éxito al colocar el mundo real bajo la forma de planos de papel en la mente de los ingenieros y, luego, en convertirla a través de archivos computacionales en una *realidad digital* disponible, visualmente representada dentro de una computadora. El Avión Boeing Jumbo 777 es señalado por la empresa Boeing como la primera aeronave que no fue diseñada en papel y tuvo una definición 100% digital antes de comenzar su construcción (Onarheim, 99).

A la luz de la realidad digital, la computadora deja de ser solo un ilustrador o modelador, sino se convierte en lo que siempre debió ser: una herramienta esencial para alcanzar un mejor diseño y construcción del que se hubiera logrado sin su ayuda.

5.4. *Lean construction* y CAVT

5.4.1. *Lean construction* en la etapa de diseño

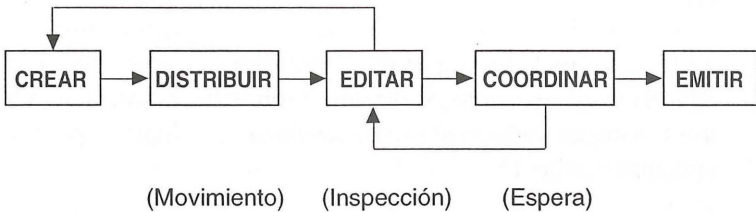
Los conceptos de *lean construction*, aplicados a la etapa de diseño de un proyecto de construcción, proporcionan una herramienta útil para un desarrollo eficiente y efectivo de la administración del proceso de diseño. El concepto de *lean production* pone énfasis en maximizar la efectividad del proceso de producción y, al mismo tiempo, maximizar la eficiencia del proceso

(Fabiran *et al* 97). Los principios de *lean production* están directamente relacionados con la gestión de la incertidumbre y la complejidad en el proceso de diseño, y reducen las pérdidas y mejoran las actividades que añaden valor. La aplicación de las TI al proceso de diseño, actualmente, está igualmente relacionada con la reducción de la incertidumbre y complejidad. Los sistemas CAD son las herramientas TI de mayor uso en la actualidad. Un estudio del año 97, enfocado en el uso general de la variada gama de herramientas que proporcionan las TI, reveló que las firmas tendían a igualar TI con CAD.

El diseño *lean* promueve diferentes aspectos para modelar, analizar y entender el proceso de diseño. La aplicación de una metodología de mejoramiento basada en los principios de *lean production* ha mostrado en Chile su capacidad de generar mejoramientos en los procesos de ingeniería. Una aplicación reciente de la metodología mostró, sin embargo, que los resultados de los mejoramientos aplicados en un caso de estudio son solo una fracción de los mejoramientos potenciales posibles, si se cuenta con el respaldo de la corporación y el compromiso de la organización completa. La evolución de los sistemas CAD en los últimos años, hacia un enfoque más amplio constituido por CAVT, es lo que permitirá convertir los mejoramientos potenciales en una realidad en el corto plazo.

En el gráfico 5.1 se muestra un modelo genérico del proceso de diseño de proyectos de construcción. Según la filosofía de *lean production*, (1) distribuir, (2) editar y (3) coordinar son actividades que, desde el punto de vista del cliente, introducen pérdidas expresadas como movimiento, inspección y esperas *innecesarias*. Mientras que las actividades de (4) crear y (5) emitir son las que agregan valor al proceso de diseño.

Gráfico 5.1.



Las herramientas digitales que brindan las TI han transformado la oficina de diseño y el proceso de este en los últimos años. El proceso de diseño mediante herramientas digitales (i.e., 2D CAD, *plotters*) está llevando el diseño a un ambiente digital de diseño que no se asemeja en nada al proceso tradicional, compuesto por tableeros de dibujo y lápices. A pesar de que la ingeniería de proyectos no está aprovechando completamente CAVT aún, puede sostenerse que las tres principales actividades que introducen pérdidas han resultado mejoradas en los últimos años, reduciéndose estas de acuerdo con los principios de *lean production*. Así, tenemos:

- La distribución de información durante el proceso de diseño y después de él aún hace uso intensivo de planos y documentos. Sin embargo, cada vez es más frecuente que la distribución e intercambio de información use soporte computacional (i.e., archivos 2D CAD). Aunque los archivos electrónicos comúnmente se imprimen, la forma de distribuirlos utilizando medios magnéticos, digitales (i.e., diskettes o CDs) e inclusive Internet ha mejorado enormemente sus formas de transporte.
- La edición de la información utilizando herramientas digitales (i.e., CAD o software de análisis estructural) mejora el proceso de edición de la información dramáticamente. Los nuevos medios digitales ofrecen la posibilidad de editar la información en forma más precisa y evaluar un número insospechado de alternativas de igual manera y mucho más rápido.

- Los mejoramientos en las actividades de coordinación durante el proceso de diseño están directamente relacionados con el mejoramiento de las otras dos actividades que se han comentado anteriormente. Los tiempos de espera para recibir información, editarla si es necesario, y discutir sobre ella se han reducido inmensamente debido al uso de herramientas digitales proporcionadas por las TI.

La reducción de pérdidas debido al mejoramiento de las tres actividades mencionadas, debido al uso de herramientas digitales, es una realidad actualmente. Sin embargo, también es una realidad que para poder utilizar eficientemente estas nuevas herramientas se necesitan habilidades especiales que muchos diseñadores no poseen. Así se origina la necesidad de personal con estas habilidades, quienes proveen el soporte indispensable para el funcionamiento óptimo de las nuevas herramientas digitales (i.e., soporte para redes, soporte para Internet, soporte para CAD). La introducción de este personal, que brinda principalmente trabajo contributorio, resulta en actividades que no agregan valor, según los principios de *lean production*.

Las herramientas digitales producen así un impacto dual en lo relacionado con la reducción de pérdidas en el proceso de diseño. Por un lado, ayudan a reducir las pérdidas mediante el mejoramiento de la eficiencia y la efectividad de las actividades que no agregan valor y, por otro lado, introducen actividades de soporte que constituyen actividades que no añaden valor.

Las generaciones futuras seguramente eliminarán este problema, ya que tanto el conocimiento de diseño como el conocimiento de CAVT estarán incorporados en la misma persona. Sin embargo, mientras que las futuras generaciones aun están creciendo, el proceso de diseño necesita encontrar una forma de enfrentar esta situación dual y, además, aprovechar los beneficios que pueden ofrecer los principios de *lean production* dentro de un proceso digital de diseño donde se utilice CAVT. Una forma de enfrentar este problema es a través de

una revisión de los esquemas organizacionales existentes, que permita incorporar el pensamiento *lean* y digital, en forma coherente, en las firmas dedicadas al diseño.

En lo concerniente a las actividades que agregan valor al proceso de diseño: crear y emitir, las herramientas digitales han ayudado a mejorar su eficiencia y efectividad. Los mejoramientos logrados están relacionados principalmente con el aumento en la productividad en la creación y emisión de planos 2D y documentos, principalmente debido al uso de sistemas CAD. Estos mejoramientos, sin embargo, se han centrado en actividades individuales y algunas veces se ha perdido de vista la visión completa del proceso de diseño. Los principios de *lean production* nos permiten gestionar el proceso de diseño desde una perspectiva que considere la visión completa de la que se carece actualmente. Si a lo anterior se le suma una estrategia de implementación de las TI y CAVT, se debería incrementar aún más la eficiencia y efectividad de las actividades que agregan valor en el proceso de diseño.

5.4.2. *Constructabilidad: un nuevo enfoque a la luz de CAVT y lean construction*

La constructabilidad, que clama por la incorporación de la experiencia de construcción durante las etapas preliminares de un proyecto (i.e., diseño preliminar, diseño detallado), surgió como un proceso innovador que debería mejorar el proceso de diseño y el desarrollo completo de los proyectos en cuestión. Ciertamente, el proceso de diseño ha venido beneficiándose de los principios de constructabilidad en los últimos años y, debido a esto, se han logrado mejoramientos importantes en varios proyectos alrededor del mundo.

En la practica, la constructabilidad ha desarrollado su trabajo principalmente haciendo uso de productos que provienen de la etapa de diseño (i.e., planos y especificaciones) y ha sido empleada básicamente en la *revisión* de los documentos producidos por esta.

Aunque también se han aplicado enfoques distintos (i.e., reuniones con equipos de construcción en las etapas preliminares de un proyecto), el principal enfoque para la aplicación de la constructabilidad dentro de la industria de la construcción ha consistido en verificar documentos y proveer retroalimentación al personal de diseño. La detección y corrección, durante la etapa de diseño, de los posibles errores que podrían presentarse más adelante, durante la etapa de construcción, ha permitido la reducción de trabajo rehecho y, por ende, de pérdidas posteriores. Evitar problemas a la construcción de esta forma, ha significado, sin embargo, introducir trabajo rehecho durante la etapa de diseño, y aunque el balance es positivo, si se consideran los beneficios al evaluar el proyecto completo, la constructabilidad, en la forma como se aplica actualmente, provoca la introducción de pérdidas durante la etapa de diseño, de acuerdo con los principios de *lean production*.

La aplicación de CAVT a proyectos de construcción está transformando la forma en que se desarrolla el proceso de diseño. El enfoque de constructabilidad, al tratar de adaptarse a este cambio, también se transforma radicalmente. El tradicional *input* para la tarea de constructabilidad, consistente en planos y documentos, está comenzando a desaparecer y, en su lugar, CAVT ofrece modelos 3D y 4D como principal *input* para la constructabilidad.

Revisar un modelo 3D buscando mejoras en la constructabilidad es completamente diferente a revisar planos 2D. La productividad y calidad de la constructabilidad a partir de los modelos 3D son inmensamente superiores a la constructabilidad realizada revisando planos 2D. CAVT permite, además, no solo revisar un modelo 3D terminado, sino observar el desarrollo del esfuerzo de modelado 3D en tiempo real (como se observa el tablero de dibujo de un diseñador por sobre su hombro mientras este trabaja). De este modo, cualquier mejora o problema puede ser detectado muy temprano durante la etapa de diseño, aun cuando no se hayan producido todavía planos 2D.

Mas allá del uso de sistemas 3D, está la tecnología 4D, la que permite construir un modelo 3D dentro de la computadora mucho antes de iniciar la construcción. El impacto de la tecnología 4D en la constructabilidad es notable. Al desarrollar la planificación y la programación de la construcción de un proyecto mediante el modelado 4D, los problemas de constructabilidad surgen en una forma natural al elaborar el proyecto dentro de la computadora, aun cuando el enfoque de constructabilidad no haya sido contemplado formalmente para el proyecto.

Aplicar constructabilidad utilizando CAVT lleva así a la eliminación o reducción significativa de las pérdidas introducidas cuando se desarrolla la constructabilidad de forma tradicional. Sin embargo, a pesar de los beneficios comprobados y la disponibilidad de CAVT, su aplicación no es de uso común ni masivo actualmente. La razón para esto radica en que los roles y habilidades de las personas involucradas en el proceso de diseño, y especialmente de aquellos involucrados en la constructabilidad del proyecto, distan mucho de aquellos que se necesitan cuando se visualiza la etapa de diseño de un proyecto, desde la perspectiva de los principios de *lean production* y la aplicación de las TI y CAVT.

CAVT ofrece la posibilidad de un enfoque del proceso de diseño verdaderamente *jalado* por la construcción, a diferencia del enfoque actual de constructabilidad que promueve un proceso de diseño sujeto a revisión por parte de la construcción y más cercano al enfoque de *empujar*, según los principios de *lean production*.

5.4.3. Una nueva construcción

Los diseñadores desarrollan realidades digitales y los contratistas necesitan construir estas realidades digitales. Esto puede ser hecho también utilizando CAVT mucho antes del inicio de la construcción. La masificación del uso del modelado 4D revolucionará completamente la forma de planificar y programar proyectos de

construcción. Los planes y programas de construcción se obtendrán como resultado de la etapa de diseño de un proyecto. El resultado de la etapa de diseño de proyectos utilizando CAVT serán principalmente modelos 3D y 4D. Se habrá diseñado durante esta etapa no solo todas las características físicas de lo que se desea construir, sino que además se habrá diseñado un completo plan y programa de cómo construirlo.

Los beneficios de la utilización de CAVT no se limitarán a obtener un nuevo producto de la etapa de diseño en un proyecto de ingeniería y construcción. Las computadoras, *plotters*, impresoras y redes resultan cada vez más comunes en los lugares de trabajo en que se desarrolla la construcción de un proyecto. La utilización de modelos 3D y 4D en el sitio de trabajo transformará por completo la forma de comunicación entre los protagonistas de la construcción de un proyecto. Mejores diseños, planes y programas de trabajo obtenidos durante la etapa de diseño serán mucho más fáciles de comunicar en terreno mediante la utilización de CAVT que eliminen la necesidad de abstracciones, necesarias tradicionalmente para transmitir información acerca de un diseño a ingenieros, capataces y obreros. La visualización de lo que se desea construir y cómo se construirá, a través por ejemplo de una computadora portátil, transformará completamente la forma tradicional de construir proyectos a la cual estamos acostumbrados

5.4.4. *Problemas organizacionales*

El proceso de diseño visto como un flujo de información, mediante las herramientas de las TI más adecuadas (CAVT), requiere una nueva definición de los roles de los actores (funciones, especialización), sus habilidades y conocimientos, la relación entre ellos, la existente entre ellos y los medios digitales (*i.e.*, hardware y software) y las relaciones de dependencia entre las personas y las máquinas.

Los mecanismos de coordinación y dependencia, dentro de las organizaciones existentes para los proyectos de construcción, están lejos de aquellos que se necesitan desde la perspectiva de la aplicación de TI y los principios de *lean production*. Como consecuencia, se busca un esquema organizacional que pueda dar cabida a los TI y a los principios de *lean production*. Ya que ningún esquema organizacional existente ha probado ser capaz de servir para estos propósitos, el siguiente paso sería tratar de adaptar alguno de ellos. En una investigación sobre el impacto de CAVT se comprobó que la adaptación de los esquemas organizacionales existentes tampoco funciona. Luego, un esquema organizacional completamente nuevo necesita ser inventado, si se quiere aprovechar realmente al máximo las ventajas que brindan la aplicación de TI y *lean construction*.

5.5. Conclusiones

Tal vez los temas presentados en este capítulo puedan parecerles ficticios o fantasioso a algunos lectores o, en el mejor de los casos, tecnologías que llegarán a nuestro país en un futuro aún muy lejano. Nada más equivocado que eso. Las herramientas de diseño 3D CAD hace tiempo que han probado su valor para el diseño y construcción de plantas industriales y han proporcionado, además, ahorros en los costos resultantes de procesos de trabajo automatizado y diseños mejorados de constructabilidad mejorada. Se han logrado importantes ganancias de productividad como resultado de la verificación de interferencias, precisión en los metrados (cubicaciones) y, sobre todo, se han conseguido aumentos significativos en la producción de planos que son extraídos directamente de modelos 3D. La tecnología 4D, por años restringida a teorías, prototipos y buenas intenciones, está por fin encontrando su camino desde la investigación a la aplicación práctica, gracias a la disponibilidad de software comerciales con capacidades de modelado 4D. La realidad

digital y el enfoque CAVT no son, pues, temas de ficción, sino realidades que se producen en la actualidad en el mundo.

El principal obstáculo para implementar CAVT en las empresas de ingeniería y construcción nacionales ya no son más los altos costos del hardware, redes y software que forman los sistemas necesarios para la implementación de CAVT. Los precios de estos sistemas son cada vez menores, los sistemas son más sencillos de implementar y utilizar, y la potencia, versatilidad y funcionalidad de estos sistemas aumenta día a día.

Cuando una estrategia de TI que contemple CAVT como herramientas centrales se aplique a una empresa de ingeniería y construcción, junto con técnicas modernas de gestión como las presentadas en este libro, entonces, la ingeniería y construcción de la obra estarán sincronizadas con los equipos de producción y los flujos de procesos que involucran recursos materiales e información. Los sistemas y elementos de la obra no interferirán y la secuencia de construcción funcionará correctamente. Todo esto habrá sido calculado, explorado, simulado y determinado en la computadora, mucho antes de haber siquiera pisado el sitio de trabajo para la construcción.

5.6. Reflexión

El mercado de construcción en nuestro país está aún en una etapa incipiente. Sin embargo, el déficit en vivienda, caminos, obras industriales y otros es tan grande que es de esperarse que tarde o temprano se produzca una verdadera explosión en el mercado de la construcción. Esta explosión irá de la mano del mejoramiento de la economía del país. En Chile por ejemplo, los logros en el avance económico durante la década pasada fueron acompañados de un mercado de construcción inmobiliario que no tiene punto de comparación con la escasa cantidad de edificación que se construyó en nuestro país durante esa década. El au-

mento del mercado de construcción aumenta también el interés de empresas de ingeniería y construcción alrededor del mundo. En un planeta globalizado no es de extrañar que una importante cantidad de las empresas de ingeniería y construcción internacionales estén, por ejemplo, instaladas en Chile y se beneficien de un mercado de construcción capaz de proveerles beneficios económicos. La pregunta obvia a que conducen las líneas anteriores es la siguiente: «¿Estaremos preparados para competir con empresas de todas las latitudes del mundo cuando el mercado de construcción de nuestro país alcance niveles que despierten verdadero interés?». Aunque suene negativo y pesimista, mi respuesta para la situación actual de las empresas el Perú es un categórico NO. La buena noticia es que este NO es fácilmente reversible. Este libro constituye un importante aporte que ofrece *herramientas específicas* para mejorar la productividad y eficiencia de las obras de construcción en el mercado actual y futuro de nuestro medio. Además, brinda una visión de futuro inserta dentro de una visión global que nos muestra tendencias y herramientas específicas relacionadas con las TI, que pueden ayudarnos a ampliar nuestra propia visión de futuro y, a la vez, prepararnos para ser actores en el mercado de construcción nacional en los próximos años, y no meros espectadores.

Ser competitivo sigue siendo importante, pero, dentro del contexto presentado en este capítulo, una prioridad que podría relegar la competitividad a un segundo plano, o el mejor de los casos acompañarla de cerca, lo constituye el hecho de llegar primero. Estar listo para responder a la oportunidad en el momento y lugar en que esta se presente. Las empresas internacionales son conscientes de ello. Y las estrategias de TI son, en la mayoría de casos, lo que les permite llegar primero.

El principal recurso para alcanzar este objetivo no está lejos de nuestro alcance y lo constituye el conocimiento. A los conocimientos técnicos relacionados directamente con la ingeniería y

construcción (estructuras, suelos, etc.) debemos añadirles el conocimiento acerca de las más modernas técnicas de gestión de producción y, finalmente, incluir una estrategia de implementación de las TI. Los capitales y herramientas materiales pueden subordinarse ante un alto conocimiento de las tres áreas antes mencionadas, sean estos capitales y herramientas nacionales o internacionales. Tenemos ante nosotros más que una oportunidad; prácticamente, solo una opción para ser protagonistas en la industria de la construcción en el Perú durante los próximos años. Esta opción no es difícil de tomar e implementar; sin embargo, es necesario ser concientes de ella y comenzar a trabajar hoy con el propósito de que el mañana nos encuentre preparados.

6. RESUMEN Y RECOMENDACIONES FINALES

Es de suma importancia comprender que con los niveles productivos promedio del orden del 28%, que manejamos actualmente en el Perú en el área de construcción (y posiblemente en otras áreas del sector productivo), no podremos despegar hacia un crecimiento sostenido. De no mejorar los niveles de ocupación del tiempo y de mantenernos en niveles productivos tan bajos, nuestro país no podrá dejar su condición de país pobre y subdesarrollado. No importará el gobierno que nos toque, ni la tendencia del mismo. Es por eso esencial que los profesionales de nuestro medio asuman su rol en el proceso de cambio necesario para que la nación pueda superar no solo la actual crisis, sino también la crisis productiva que vivimos. Debemos convencernos de que el cambio real está en nuestras manos.

Es fundamental optar por encarar el problema de la competitividad de la empresa nacional con enfoques profesionales y con la aplicación de una serie de herramientas de aumento de la productividad (algunas propuestas en este libro, como un *sistema de aumento de la productividad*) y, paralelamente, controlar que las condiciones de competencia sean parejas, mediante nuestra contribución activa al destierro de los usos y abusos de prácticas informales y dañinas en nuestro medio.

El potencial de mejoramiento de la industria local es alto. Lograr mejorar los niveles productivos, hasta una etapa de competitividad media, es relativamente sencillo y el costo de la implementación de los sistemas propuestos en este libro es muy bajo. Las razones por las que no se asume el reto del mejoramiento son complejas y difíciles de comprender. Hemos tratado de propulsar el tema de la eficiencia y la productividad con resultados considerables en algunas empresas, mas no es suficiente para el nivel del país. Necesitamos, por tanto, que la universidad cumpla una de sus funciones básicas que es la promoción del conocimiento de vanguardia, particularmente en las áreas de interés nacional. Para esto deberá modernizar sus programas de estudios aceleradamente para recuperar en poco tiempo los años de retraso que lleva. Necesitamos crear una masa crítica que logre un desarrollo homogéneo de nuestra industria. Un amigo nuestro nos comentaba que «... es difícil ser rico en un país de pobres; pero es más difícil ser pobre en un país de ricos...». Debemos trabajar para poder elevar los niveles de ingreso de nuestra industria en general. Si le va bien a nuestra competencia, muy posiblemente nos vaya bien a nosotros también. Se dice que el siglo XXI será el de las empresas que sepan combinar dos conceptos aparentemente contradictorios: **COMPETENCIA Y COOPERACIÓN** (Villarán 1996). Combine nuestros talentos y esfuerzos en el Perú para poder salir del subdesarrollo de forma conjunta, en bloque.

De acuerdo con Villarán (1996), el nuevo modelo se basa en empresas de menor dimensión, de gran flexibilidad, con una organización interna horizontal y participativa fuertemente informatizada, con alianzas y redes de cooperación, con proveedores, subcontratistas, universidades e instituciones de investigación, y con una relación estrecha y subordinada a los clientes o consumidores, en la que el recurso humano altamente calificado es el recurso más importante. El camino hacia la optimización de nuestras empresas, que este modelo propone, y de nuestro país en su

conjunto va a requerir del esfuerzo y dedicación de cada uno de nosotros. Este esfuerzo va más allá de la gestión de producción y la productividad, aunque creemos que esta área de trabajo ofrece un tremendo potencial de mejoramiento en el Perú de inicios del siglo XXI.

Vemos una tremenda oportunidad (tanto en el campo de la empresa como en el campo nacional) para el desarrollo y aplicación de las tecnologías de información en la construcción. Lamentamos, sin embargo, que las universidades locales tengan una velocidad de avance mucho menor al de las empresas y no puedan mantenerse al día de los desarrollos alcanzados en otros países y que, por tanto, aporten muy poco al desarrollo del país. Por otra parte, la disponibilidad de información con la que se cuenta en la actualidad a través de Internet abre una nueva oportunidad para nuestras empresas. Ahora podemos acceder a información proveniente de investigaciones en las que se han invertido cientos de millones de dólares en los países desarrollados, y podemos utilizarla de forma inmediata. Incluso, antes de que las aprovechen las empresas de los países desarrollados, si es que somos lo suficientemente flexibles y veloces en la asimilación de las nuevas tecnologías. En este sentido, pese a que la responsabilidad y los beneficios directos son de la empresa privada, sería de extrema conveniencia para el país que el estado abra sus ojos y promueva la asimilación de estas nuevas tecnologías en nuestro medio.

Pese a que la información está disponible para todos, también la velocidad de generación de la información es mayor y, por tanto, si nos descuidamos como país la brecha entre nosotros y las naciones desarrolladas se irá ampliando también a una velocidad mayor. La necesidad de que nos *subamos al coche* del desarrollo en esta nueva ola de avance tecnológico es urgente. Tenemos entre manos una nueva oportunidad para salir del subdesarrollo. *No la desaprovechemos.*

Bibliografía

BALLARD, Glenn

1997 *Look Ahead Planning: The Missing Link in Production Control*. Proceedings of the 5th International Workshop on Lean Construction. Gold Coast (Australia).

— y Greg HOWELL

1994 *Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow*. Proceedings of the 2nd Annual Meeting of the International Group for Lean Construction. Santiago de Chile.

1994 *Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow*. Proceedings of the 2nd International Workshop on Lean Construction. Santiago de Chile:

1997 *Shielding Production: an essential step in production control*. Technical Report 97-1, Construction Engineering and Management Program, Department of Civil and Environmental Engineering University of California at Berkeley.

BENTLEY, Greg

1998 *Greg Bentley's Remarks* from A/E/C Systems '98.

CARRASCO, L. y L. BONELLI

2000 «Diagnóstico y evaluación de los actuales sistemas de administración de proyectos de edificación en Lima Metropolitana». Tesis en curso para optar el título de Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Perú.

BJÖRK, B.C.

1999 «Information Technology in Construction: domain and research issues». *International Journal of Computer-Integrated Design and Construction*, 1(1), 3-16.

COLLIER, E. y M. FISHER

1995 «Four-Dimensional Modeling in Design & Construction». Technical Report n.º 101, CIFE Publications, Stanford University.

DETOUZOS, M.

1998 *What will Be*, Harper Edge.

DRUCKER, Peter

1999 *Los desafíos de la gerencia para el siglo XXI*. Harper Collins Publishers Inc.

EASTMAN, Ch.

1999 *Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction*. CRC Press LLC, USA.

FISHER, M.

1999 «Introduction to 4D Research at Stanford, Dept. of Civil and Environmental Engineering and the Center for Integrated Facility Engineering». <http://www.stanford.edu/group/4D/4D-home.html>.

FLORES, R., C. SALÍZAR y O. TORRES

- 2000 «Diagnóstico y evaluación de la productividad en la construcción de obras civiles a nivel de Lima Metropolitana». Tesis en curso para optar el título de Ingeniero Civil por la Pontificia Universidad Católica del Perú.

GHIO, Virgilio

- 19971 *Guía para la innovación tecnológica en la construcción*. Santiago de Chile: Ediciones de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
- 1997 *II Development of Construction Work Methods and Detailed Production Planning for On-Site Productivity Improvement*. Proceedings of the 5th Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Gold Coast (Australia).
- 1999 «Productividad en obras de construcción: diagnóstico, crítica y propuesta». *Revista del Ingeniero Civil*. Lima, Perú.

GHIO, V., E. VALLE y L. RISCHMOLLER

- 1997 *Preplanning: A Rewarding Experience*. Proceedings of the 5th Annual Conference of the International Group of Lean Construction. Gold Coast (Australia).

HOWELL, Gregory

- 1999 *What is Lean Construction – 1999*. Proceedings, IGLC-7, San Francisco, California, USA.

INTERGRAPH COMPUTER SYSTEMS

- 1998 «Graphics Supercomputing on Windows».

KOO, B. y M. FISHER

1998 «Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction». CIFE Technical Report n.º 118, Stanford University.

KOSKELA, Lauri

1992 «Application of the New Production Philosophy to Construction», Technical Report, Number 72, September, Stanford University. Lean Construction Institute, <http://www.leanconstruction.org>

McGOVERN G.

1999 *The Caring Economy-Business Principles for the New Digital Age*. Black Hall Publishing, Ireland.

McKINNEY, K. y M. FISHER

1998 «Generating, evaluating and visualizing construction schedule with CAD tools». *Automation in Construction*, 7, 433-447.

NEGROPONTE, N.

1995 *Being Digital*, Alfred A. Knopf, New York.

RISCHMOLLER, L., M. FISHER, R. FOX. y L. ALARCÓN

2000 «Impact of Computer Advanced Visualization Tools in the AEC Industry». Construction Information Technology (CIT) International Conference 2000. Reykjavik.

2000. «Automation and Visualization tools to improve support for Process Integration in the Construction Industry». International Conference on Construction Information Technology 2000, Hong Kong, 2000.

SERPELL, Alfredo

1993 *Administración de obras de construcción*. Santiago de Chile: Ediciones de la Universidad Católica de Chile.

STAUB, S., M. FISHER y S. MELODY

1998 «Industrial Case Study of Electronic Design and Schedule Integration». *Working Paper*, n.º 48, CIFE, Stanford University.

TAPSCOTT, D.

1998 *Creciendo en un entorno digital-La generacion net*. McGraw Hill.

TOFFLER, Alvin

1980 *La tercera ola*. Plaza & Janes Editores.

TURK, Z.

1997 *Overview of Information technologies for the Construction Industry*, Proceedings «Icelandic Construction IT Conference», Reykjavik, May 9th.

VILLARÁN, Fernando

1996 *Riqueza popular*. Lima: Ediciones del Congreso de la República del Perú.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

ALARCON, Luis Fernando

1997 *Lean Construction*. A.A. Balkema Publishers, Rotterdam, Netherlands.

DEMMING, Edwards

1982 *Out of the Crisis*. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA. 507 pp.

GOLDRATT, Eliyahu

1992 *The Goal*. North River Press, USA.

OGLESBY, PARKER Y HOWELL

1988 *Productivity Improvement for Construction Managers*. McGraw Hill.

WOMACK, Jones

1996 *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. Nueva York: Simon and Schuster, 350 pp.

Este libro se terminó
de imprimir en los talleres gráficos de:
AMISTAD EDITORES E IMPRESORES S.A.C.
General Varela 2030 - Pueblo Libre
Telf.: 431-5604 / 433-3970 • Fax: 433-9866

de materiales, técnicas constructivas y productividad, editó la revista Ingeniería de Construcción y fue elegido por los alumnos como el mejor profesor de la Escuela de Ingeniería en 1996. En 1997 regresó al Perú y se incorporó a la empresa CVG Ingenieros, Ltda., dedicada a la construcción y la consultoría en ingeniería civil. Como Director-Gerente de CVG, participó en muchos proyectos de envergadura en la construcción y como consultor en aumento de la productividad, en varias obras importantes. Nunca permitió que la vida profesional interfiriera en su gran pasión, la enseñanza, que siempre lo mantuvo ligado al ambiente académico. Fue Profesor Asociado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, donde dictó cursos de Gestión de Operaciones de Construcción e Innovación Tecnológica. El Dr. Ghio publicó más de 35 trabajos técnicos en renombradas revistas internacionales y los libros «Tecnología del Concreto: Eficiencia y Competitividad en la Construcción» en 1994 y «Guía para la Innovación Tecnológica en la Construcción» en 1997.

Su pasión, creatividad y fuerte personalidad trascendieron en forma indeleble en quienes tuvieron la suerte de sentir su toque, alegre e ingenioso, desbordante de un sorprendente sesgo humorístico en su muy particular interpretación del devenir del mundo y sus acontecimientos. Su recordada frase y lema de vida: «La mediocridad para algunos es normal, la locura es poder ver más allá» (*El tuerto y los ciegos - Sui Generis*), sintetizan a Virgilio Ghio.

Este libro es el mejor reflejo de lo que fue su valiosa vida profesional. En él, Virgilio realiza una crítica descarnada de las «taras» que, según su opinión, tienen postergado el desarrollo de la Ingeniería Civil en el Perú; pero su aporte no se reduce a esto. Virgilio señala en forma clara y detallada los caminos que, a su juicio, deben seguirse para superar la situación actual de nuestra profesión. Asimismo, en forma generosa expone con detalle los métodos que supo adaptar e implementar en su empresa para mejorar su productividad.

Ernesto Valle Velarde



Pontificia Universidad Católica del Perú

Fondo Editorial 2001