



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

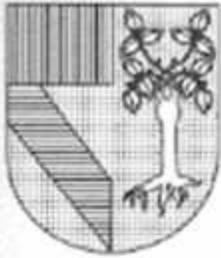
## CAMPUS GUADALAJARA

### **LEAN CONSTRUCTION: APLICACIÓN PRÁCTICA EN LA CONSTRUCCIÓN DE PISOS INDUSTRIALES**

Roberto Michel Díaz

Tesis presentada para optar por el grado de  
Maestro en Administración de la Construcción  
con Reconocimiento de Validez Oficial de Estudios  
de la SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA,  
según acuerdo número 994188 con fecha 09-VII-99.

Zapopan, Jal., 10 de Octubre 2012



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

Zapopan, Jalisco, Septiembre 2012

MTRO. FRANCISCO A. OROZCO ARGOTE  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE  
EXÁMENES DE GRADO  
P R E S E N T E.

Me permito hacer de su conocimiento que Sr. Roberto Michel Díaz, ha concluido satisfactoriamente su trabajo de titulación con la alternativa TESIS, titulada:

“LEAN CONSTRUCTION: APLICACIÓN PRACTICA EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE PISOS INDUSTRIALES “

Manifiesto que, después de haber sido dirigida y revisada previamente, reúne todos los requisitos técnicos para solicitar fecha de Examen de Grado.

Agradezco de antemano la atención prestada y me pongo a sus órdenes para cualquier aclaración.

ATENTAMENTE

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and lines, positioned above the typed name.

MTRO. FRANCISCO ALEJANDRO OROZCO ARGOTE  
ASESOR DE TESIS



# UNIVERSIDAD PANAMERICANA

CAMPUS GUADALAJARA

## DICTAMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

C. Sr. Roberto Michel Díaz  
P r e s e n t e.

En mi calidad de presidente de la Comisión de Exámenes de Grado, y después de haber analizado el trabajo de titulación presentado por usted en la alternativa de **TESIS**, titulada:

“LEAN CONSTRUCTION: APLICACIÓN PRACTICA EN LA  
CONSTRUCCIÓN DE PISOS INDUSTRIALES “

Le manifiesto que reúne los requisitos a que obligan los reglamentos en vigor para ser presentado ante el H. Jurado del Examen de Grado, por lo que deberá de entregar ocho ejemplares como parte de su expediente al solicitar el examen.

ATENTAMENTE

Una firma manuscrita que parece ser "Francisco Alejandro Orozco Argote", escrita en tinta negra sobre un fondo blanco.

MTRO. FRANCISCO ALEJANDRO OROZCO ARGOTE  
PRESIDENTE DE LA COMISIÓN  
DE EXAMENES DE GRADO

# ÍNDICE

<b>CAPITULO 1</b> .....	<b>3</b>
1. Introducción.....	4
1.1 Antecedentes de Lean Construction. ....	5
1.2 Principales ideas y conceptos de Lean Construction. ....	6
1.3 Pérdidas, cadena de valor y logística desde el punto de vista de su dirección en la construcción. ....	10
1.3.1 Pérdidas .....	10
1.3.2 Cadena de Valor .....	10
1.3.3 Logística .....	11
1.4 Los principios de Lean Construction .....	12
1.5 Términos clave en Lean Construction .....	12
1.6 Otros conceptos adicionales: .....	13
<b>CAPITULO 2</b> .....	<b>15</b>
2. Aplicación práctica de Lean Construction en la construcción de pisos industriales. ....	16
2.1 Antecedentes:.....	16
2.2 Planeación y proceso constructivo actual para pisos industriales de concreto. ....	17
2.3 Análisis de los procesos con visión lean construction. ....	22
2.3.1.1 Descripción de la operación habilitado de acero.....	23
2.3.1.2 Análisis.....	24
2.3.1.3 Medición.....	26
2.3.1.5 Conclusión.....	30
2.3.1.6 Propuestas de mejoras.....	31
2.3.2.1 Descripción de la operación colado de losa.....	32
2.3.2.2 Análisis.....	33
2.3.2.3 Medición.....	34
2.3.2.4 Resultados .....	39
2.3.2.5 Conclusiones.....	39
2.3.2.6 Mejoras del proceso .....	40
2.4 Análisis general de los procesos de construcción de pisos industriales .....	42
<b>CAPITULO 3</b> .....	<b>45</b>
3. Conclusiones.....	46
<b>CAPITULO 4</b> .....	<b>49</b>

4. Referencias.....	50
<b>CAPITULO 5 .....</b>	<b>53</b>
5. Anexos.....	54

# **CAPITULO 1**

## **Introducción**

## **1. Introducción**

Los sistemas constructivos a través de los años se han visto en la necesidad de adecuarse a la velocidad con que la sociedad, los espacios urbanos, y la tecnología se han desarrollado. Existe la necesidad de generar construcciones mas grandes, complejas, pero a la vez modernas y funcionales. Lo anterior involucra la generación de sistemas y proceso constructivos, que aunque en ocasiones pueden ser mas grandes y complejos, requieren ser construidos con mayor rapidez, mayor eficiencia, y que generen utilidades para los constructores e inversionistas, que a su vez, los incentiven a buscar realizar mayor cantidad de proyectos. Todo esto impulsando el desarrollo de las sociedades, haciéndolas también mas eficientes, modernas y sustentables.

Ante estos cambios, la gestión y las técnicas de administración de la construcción que involucran la planeación y control, se han tenido que adaptar con cambios significativos, incorporando calidad, seguridad, especialización, productividad, tecnología, mayor información, así como otras disciplinas de gestión. Sin embargo, no se ha logrado del todo ésta adaptación, pues en muchas ocasiones, la planeación y control caen en la improvisación y en el caos, generando mala comunicación, documentación inadecuada, ausencia o deficiencia en la información de entrada de los procesos que se realizan, mala asignación de recursos, falta de coordinación entre disciplinas y mala toma de decisiones.

A lo largo del tiempo se ha buscado mejorar estas áreas de oportunidad, mediante la administración de proyectos, la ingeniería concurrente, modelos de procesos, ingeniería de valor, nuevas formas organizacionales, nueva tecnología, nuevos índices de desempeño, etc.

Todo lo anterior carece de una base conceptual y se encuentra sumamente fragmentada. La base teórica faltante debe considerar una relación entre tres diferentes modelos: conversión, flujo y valor, siendo éste último el nivel de satisfacción del cliente.

Como resultado de lo anterior, investigadores nacionales e internacionales, han buscado estructurar un marco teórico que permite entender que tipo de producción es la construcción, que se conoce actualmente como “Lean Construction”, “Construcción Esbelta”, o “Construcción sin pérdidas”, buscando minimizar o eliminar aquellas fuentes que impliquen pérdidas, que implican a su vez menor productividad, menor calidad, mayores costos, etc.

### **1.1 Antecedentes de Lean Construction.**

En el año de 1950 en Japón se tienen los primeros avances e ideas de producción en base a una nueva filosofía de planeación, aplicada en el sistema Toyota, basada en la eliminación de inventario y pérdidas, limitación de la producción a pequeñas partes, reducción o simplificación de la estructura de producción, y el empleo de máquinas semiautomáticas, cooperación entre proveedores, entre otras técnicas.

Adicional y simultáneamente se desarrolló en la industria japonesa, la filosofía de calidad basada en un método estadístico de garantía de calidad, incluyendo ciclos de calidad y otras herramientas para su desarrollo en las empresas.

Sin embargo no se logró desarrollar una base teórica de fondo, hasta 1975 que las ideas se difundieron a Europa y Norteamérica debidas al cambio de mentalidad de la industria automotriz.

Nuevas herramientas han sido desarrolladas paralelamente para aumentar el desarrollo de la filosofía Lean Production, como el Despliegue de Función de Calidad (QFD). (Akao 1990).

Ha servido también como base para la elaboración de las Cadenas Críticas, Teoría de las restricciones y mejoramiento continuo, que se extendió hasta la construcción (Goldratt). También se han adaptado progresivamente los conceptos de Lean Production Japonés para acomodarse a los requerimientos de gestión en la industria de la construcción, lo que generalmente se denomina “lean construction”. Koskela (1992) puso las bases de la aplicación de la producción sin pérdidas a la construcción, analizando los sistemas productivos emergentes como el enfoque “just-in-time”, ingeniería concurrente, gestión de la calidad total, reingeniería de procesos, así como las ideas aplicadas en el sistema de fabricación de Toyota. Posteriormente, introdujo una visión integradora de la producción

como flujo de información o de materiales, con tres objetivos fundamentales (Koskela, 2000): reducción de costes, ahorro de tiempo e incremento de valor para el cliente.

Por otra parte, el International Group for Lean Construction inició su andadura en 1997 (Alarcón), con congresos anuales que han servido para difundir este nuevo enfoque entre la industria a nivel mundial. La progresiva implementación de estas ideas ha permitido que muchas de sus prácticas vayan progresivamente migrando aguas arriba y abajo en la cadena de valor, introduciéndose en el diseño, contratación, ejecución de la obra, suministro, subcontratación, etc., y modificando sustancialmente las relaciones entre los diversos participantes.

En 1997 se fundó el Instituto Lean Construction (LCI), una organización de investigación sin fines de lucro, cuyo objetivo es reformar la gestión de la producción en el diseño, ingeniería y construcción para las obras de infraestructura. LCI desarrolló el Sistema de Entrega de Proyectos Lean (Lean Project Delivery System - LPDS ) que aplica los principios pioneros en la construcción. Las herramientas LPDs facilitan la planificación y el control, maximizando el valor y minimizando los desperdicios en todo el proceso de construcción.

El Último planificador (a veces conocido como el sistema del último planificador o Last Planner System) fue desarrollado por Glenn Ballard y Howell Greg en la década de 1990.

El último planificador es un sistema de planificación de la producción destinada a producir un flujo de trabajo confiable y rápido aprendizaje en la programación, diseño, construcción y puesta en marcha de los proyectos.

## **1.2 Principales ideas y conceptos de Lean Construction.**

El modelo de proceso de producción según los principios de Lean Construction se basa en la consideración de los flujos de un proceso (actividades que no agregan valor), como las actividades de conversión (actividades que agregan valor) permitiendo enfatizar el análisis mediante la minimización y/o eliminación de las actividades de flujo, puesto que constituyen la mayor parte de los pasos en los procesos de producción en la construcción.

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

- Pérdidas: Tales como la cantidad de defectos, adaptaciones, el número de errores de diseño u omisiones, la cantidad de órdenes de cambio, gastos en seguridad, el exceso de materiales y el porcentaje de tiempo que no agrega valor al ciclo total.
- Valor: El valor se define como el grado de satisfacción del cliente final, o sea que todos sus requerimientos sean cumplidos sin inconvenientes. El valor debe ser medido por un proceso de medición post venta o post construcción.
- Tiempo de Ciclos: Los tiempos del ciclo principal y de sus subprocesos son uno de los indicadores más poderosos.
- Variabilidad: La producción en la construcción variará con alguna desviación estándar, por ejemplo, debido a la variación en tamaño y peso de los componentes instalados, facilidad de instalación, tolerancias de fabricación y elevación, etc. Esta desviación de lo planificado representa lo que se ha pasado a denominar "variabilidad". Ausencia de variabilidad significa producción confiable (Tommelein et. al. 1998).

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

- Especificidad: Deben estar relacionados con aspectos, etapas y resultados claves del proyecto o del proceso.
- Simplicidad: Deben ser de fácil aplicación, comprensión y medición.
- Bajo costo: El costo de la medición debe ser significativamente menor que el potencial ahorro.
- Representatividad: Debe dar información veraz y confiable del proceso evaluado.

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

## **POR RESULTADOS**

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

Índices de desempeño de resultados globales del proyecto.

### POR PROCESOS

Procesos	Parámetros	Unidades
Construcción		Real vs. Presupuestada
	Productividad	HH / ton \$ / ton
	Rendimiento	HH / m3 \$ / m3
		HH / ml \$ / ml
		Etc. Etc.
	Trabajo Rehecho	HH trabajo Rehecho / HH totales

	Pérdida de Material	% de pérdidas de materiales con respecto al Total Completado
	Equipos	HM Reales / HM Presupuestadas
Abastecimiento	Atrasos	Nº de pedidos atrasados / Nº total de pedidos
		Nº de actividades en espera / Nº de actividades en el periodo
	Conformidad con especificaciones	Nº de pedidos con errores / Nº total de pedidos
Planificación	Efectividad de la Planificación	% de actividades Completadas = Nº de actividades totalmente Completadas / Nº de actividades planificadas
Gestión	Avance	HH vendidas / HH presupuestadas
Diseño/Ingeniería	Cambios de Diseño	Nº de cambios / Total de Planos
	Errores/Omisiones	Nº de errores / Total de Planos

Índices de desempeño de los procesos involucrados en un proyecto.

### POR VARIABLES

<b>Variables</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>
Seguridad	Índice de Accidentabilidad	$(\text{N}^\circ \text{ de accidentes}) \times 100 / \text{N}^\circ \text{ total de trabajadores}$
	Tasa de Riesgo	$(\text{N}^\circ \text{ Días perdidos}) \times 100 / \text{Promedio anual de trabajadores}$

Índices de desempeño de acuerdo a variables presentes en un proyecto.

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

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

### **1.3 Pérdidas, cadena de valor y logística desde el punto de vista de su dirección en la construcción.**

#### **1.3.1 Pérdidas**

La nueva filosofía de “Construcción sin pérdidas” acepta el concepto adoptado por Ohno como: “Todo lo que sea distinto de la cantidad mínima de equipos, materiales, piezas, y tiempo laboral absolutamente esenciales para la producción”.

Existen pérdidas de tiempo improductivo clasificadas en:

1. Pérdidas por esperas (inactividad)
2. Pérdidas por traslados
3. Pérdidas por trabajo lento
4. Pérdidas por trabajo inefectivo
5. Pérdidas por trabajo rehecho

Y de acuerdo a su fuente según al área a la que pertenecen, pueden ser:

a) Administración: Requerimientos innecesarios, exceso o falta de control, mala planificación o excesiva burocracia.

b) Uso de Recursos: Exceso o falta de cantidad, falta de cantidad, mal uso, mala distribución o disponibilidad.

Sistemas de Información: No necesaria, defectuosa, atrasada o poco clara.

#### **1.3.2 Cadena de Valor**

- Actividad que agregan valor: La Actividad que convierte un material y/o la información hacia los requerimientos del cliente. En suma, son las actividades que el cliente reconoce en un estado de pagos del proyecto como ejecutadas.
- La actividad que no agregan valor (pérdidas): aquellas que produciendo un costo, ya sea directo o indirecto, no agregan valor ni avance a un proyecto.

Se define a la dirección de la cadena de valor a "la manera de controlar, manejar, y de dirigir una secuencia de actividades que una empresa realiza para crear productos (servicios) que aumenten beneficio, disminuyan tiempo y costo, y mejoren la calidad para la empresa y generan beneficio (valor) para el cliente. Donde el “**valor**” se define como "cantidad, que crece cuando la satisfacción de cliente aumenta o los costos asociados disminuyen de un determinado producto.

### **1.3.3 Logística**

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

- Suministro de materiales, su almacenaje, procesamiento y dirección;
- Suministro de mano de obra;
- Control de los programas de construcción;
- Movimiento de la maquinaria de construcción en terreno;
- Dirección de los flujos de construcción;
- Dirección de los flujos de información relacionada con los flujos en el proceso de ejecución.

Esto se logra con el mejoramiento en las actividades de planificación, organización y el control antes, durante y después de los trabajos de construcción.

Las funciones de la logística en una empresa constructora se pueden dividir en logística de recursos y la logística en terreno del proceso.

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

El porcentaje de actividades completadas (PAC) es el número de actividades planificadas Completadas dividido por el número total de actividades planificadas, expresadas como porcentaje.

#### **1.4 Los principios de Lean Construction**

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

#### **1.5 Términos clave en Lean Construction**

- Rapidez de punto o Point Speed: que tan rápido cada asignación o actividad es completada
- Rendimiento o throughput – la cantidad de proyecto completado en cada periodo
- Capacidad – cantidad de trabajo que puede ser hecho por el especialista, relacionado con la productividad.
- Empuje o Push - Avance del trabajo basado en el programa central
- Arrastre o Pull - señalización para los componentes de trabajo para llegar cuando ellos son requeridos
- El sistema más largo es el foco de la atención de la administración, no la optimización local.

- Los intereses de los involucrados se alinean a través de contratos relacionales.
- Producto y proceso son diseñados en conjunto
- Los participantes intermedios son involucrados con los participantes de arriba y viceversa.
- La necesidad es la madre de la invención, autoimpuesta causa innovación y aprendizaje.
- Variaciones son atacadas y reducidas.
- Inventario, capacidad, programa y reservas financieras, son medidos y ubicados para realizar su función de absorber la variabilidad que no puede ser eliminada.
- Fluir donde se puede, jalar donde no se puede, empujar donde se debe.
- Las actividades son realizadas en el ultimo momento responsable

### **1.6 Otros conceptos adicionales:**

Muestreo del trabajo. La herramienta de muestreo de trabajo, consiste en numerosas observaciones cortas de la labor de los operarios en su sitio de trabajo y categoriza en tres grupos principales el trabajo realizado por los obreros. Éstas son las categorías:

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

Trabajo contributivo o contributorio. Es el tiempo que emplea el trabajador realizando labores de apoyo necesarias para que se ejecuten las actividades productivas, como limpieza de superficies, mediciones previas y de inspección, transporte de materiales, etc.

Trabajo no contributivo o contributorio. Se define como cualquier otra actividad realizada por los obreros y que no se clasifica en las anteriores categorías, por lo tanto se

consideran pérdidas. Ejemplos de esta categoría son los tiempos dedicados a esperas, tiempo ocioso, reprocesos, etc.

La carta de balance o carta de equilibrio de una cuadrilla, es un gráfico de barras verticales, que tiene una ordenada de tiempo, y una abscisa en la que se indican los recursos (hombre, máquina, etc.) que participan en la actividad que se estudia, asignándole una barra vertical a cada recurso. Tal barra se subdivide en el tiempo según la secuencia de actividades en que participa el respectivo recurso, incluyéndose los lapsos improductivos y de trabajo inefectivo. Dado que cada elemento de la cuadrilla es graneado en el mismo período de tiempo, la relación de éstos se puede observar mediante una comparación de líneas horizontales de referencia, pudiendo descubrirse patrones comunes que incidan en los ciclos de trabajo.

El objetivo de esta técnica es analizar la eficiencia del método constructivo empleado, más que la eficiencia de los obreros, de modo que no se pretende conseguir que trabajen más duro, sino que en forma más inteligente.

Las vías para mejorar la eficiencia del grupo de trabajo que materializa las actividades de interés (en tanto se haya escogido el método constructivo) son la reasignación de tareas entre sus miembros y/o la modificación del tamaño del grupo que conforma la cuadrilla. (Revista Ingeniería de Construcción, N°9, Julio-Diciembre 1990, Alfredo Serpell)

## **CAPITULO 2**

# **Aplicación práctica de Lean Construction en la construcción de pisos industriales**

## **2. Aplicación práctica de Lean Construction en la construcción de pisos industriales.**

### **2.1 Antecedentes:**

La construcción de pisos industriales son proyectos generalmente muy rápidos, ya que forman sólo una pequeña, pero no menos importante, parte de proyectos más grandes como centros de distribución, almacenes, naves de producción, centros comerciales, etc. Generalmente el tiempo que requieren para su construcción, independientemente de su diseño, es de aproximadamente 1 o 2 semanas. Existiendo proyectos de mayor envergadura como grandes plantas para la industria automotriz, o grandes centros de distribución, que requieren sólo para la construcción de los pisos, 6, 8 o más semanas.

Generalmente éstos proyectos no son parte de una “ruta crítica” para la entrega final del proyecto, sin embargo por el tiempo que se requiere para que los pisos tengan una resistencia adecuada para recibir carga, puede volverlos críticos, sobretodo en aquellos proyectos que requieren habilitado de racks, y que para la operación se vuelven indispensable tenerlos disponibles lo antes posible para recibir y almacenar mercancía.

Como se puede apreciar, existe una gran variación de proyectos de pisos industriales, que generalmente siendo proyectos realizados en corto tiempo, requieren una adecuada planeación, pero que además por la rapidez con la que se deben construir, se tiene poco margen de error, pues representan un porcentaje importante de la inversión de este tipo de proyectos. Como ejemplo podemos mencionar que un proyecto de aproximadamente 6,000 m<sup>2</sup>, con un piso de concreto reforzado de 15 cms., puede llegar a costar hasta \$3'000,000.00, el cual puede realizarse hasta en 1 semana de trabajo.

## **2.2 Planeación y proceso constructivo actual para pisos industriales de concreto.**

Los proyectos de pisos industriales, comienzan con la petición de un cliente, ya sea una constructora o un particular que desea un especialista para la construcción de sus pisos. Si el cliente tiene ya una especificación, se revisa la misma, y se presenta la propuesta económica acompañada de recomendaciones generadas por la revisión de la especificación. Si el cliente no tiene aun la especificación, se solicita la información necesaria para presentarle propuesta que incluya el diseño (Fig. 4), acompañada de una memoria técnica con el detalle de la especificación, así como de la propuesta económica. En este punto se determina en base a la experiencia, la duración para la construcción del piso de concreto.

Posteriormente, una vez aceptada la propuesta, se realizan los trámites administrativos que incluyen contrato, trámite de fianzas, facturación, pago de anticipo, etc. Este punto es en el que se autoriza y libera el proyecto.

Se procede entonces a solicitar los materiales con los proveedores principales, verificando su disponibilidad, y programar su envío, pues los proyectos pueden ser en cualquier parte de la República, en caso de que por alguna razón se dificulte el suministro de algún material, se busca con otros proveedores alternos. Se hace un pequeño programa por día, que incluya los volúmenes de concreto (Fig. 2), y éste se le hace llegar a la concretera, para que, en caso de que sea un producto especial, cuente con la existencia suficiente para cada día de colado, contemplando un porcentaje de desperdicio, que puede ser por deficiencias en los niveles de terracería, mezclado o dosificación no adecuada, falta de calidad en la mezcla, cancelaciones por fallas en el equipo, etc.

Esta programación se lleva a cabo desde oficina central.

La siguiente etapa es la preparación en obra, en donde se verifica previamente que efectivamente se tenga “tramo” para iniciar, y poder cubrir con el programa. La mayoría de las veces se solicita por cuestiones de calidad durante la construcción de los pisos, que se tengan techumbre y muros, si no al 100% de las naves, un porcentaje importante en el avance para evitar que el área a colar quede a la intemperie.

Una vez verificado, se procede a la recepción y verificación de los materiales, los cuales, debe confirmar el residente de la empresa asignado a dicho proyecto. Si se requiere algún trámite especial para el ingreso de los trabajadores a la obra, se debe contemplar para que el personal llegue un par de días antes del inicio de los trabajos. Generalmente cuando los pisos son de concreto reforzado, es decir con armado de parrilla de acero, los “fierros” son los primeros que llegan, junto con el residente y un par de ayudantes que verifican los niveles de las terracerías. En caso de que los niveles no cumplan, se excedan, se queden cortos, o tengan alguna deficiencia como baches, desniveles, mala compactación, etc., se solicitará que se arreglen dichos detalles y se entreguen a conformidad de la empresa. Una vez liberada la terracería y verificados los niveles, se hace el “trazo” en obra, de las “piedras” a colar, y se procede al tendido, y habilitado del acero. Posteriormente se realiza el cimbrado, dejando una cara, o parte de una cara de la cimbra preparada, pero sin colocar, para el acceso de los trompos, o en caso de que sea un concreto bombeado, se cimbra todo el perímetro. Las cimbras se nivelan con nivel óptico, para que queden a nivel de piso terminado. Adicionalmente se cimbran los “diamantes” para aislar las columnas del piso, y que se colarán posteriormente. En el perímetro donde se tenga algún muro colindante, se coloca un material de aislamiento, para evitar que el piso quede directamente colado al muro, sino que trabaje de forma independiente. Se revisa que todos los puntos anteriores se encuentren listos para poder dar el visto bueno, y proceder a programar el concreto. (Fig. 1)

El concreto se programa para iniciar al día siguiente, o si es el inicio de los colados, que sea para iniciar en lunes, buscando que los horarios sean los adecuados, en temperatura, humedad, viento, clima, y que principalmente el ciclo de los camiones revolvedores sea constante y continuo, de manera de no generar intervalos muy largos o muy cortos entre los mismos que puedan generar problemas de calidad en el terminado final del piso.

Se inicia el tiro de concreto, con la llegada del primer camión revolvedor, registrando hora de llegada, y tomando las muestras de revenimiento, y observando la consistencia del concreto. Este punto es muy importante ya que generalmente en el primer camión se pueden identificar detalles que en ese momento se pueden solicitar sean ajustados para los viajes subsecuentes. Si la mezcla, no cumple con las especificaciones y calidad necesaria, éste puede ser devuelto a planta.

Una vez que es revisada la mezcla, se procede a iniciar el vaciado del concreto en el área preparada, ubicando el camión de reversa, con la colocación previa de las silletas para calzar el acero, e iniciando el vaciado el concreto por el canalón. En éste momento el Jefe de cuadrilla de la colocación, puede observar mas a detalle el comportamiento y composición de la mezcla, por lo que si existe todavía alguna observación adicional sobre la mezcla, se considera para hacer los ajustes en los siguientes viajes de concreto. El concreto se procede a vaciar de manera de que en base al espesor el jefe de cuadrilla o una persona asignada por él, que esté capacitada y con la experiencia necesaria distribuye la cantidad que él considera es suficiente para que al extenderse, no sea demasiado el excedente que se tenga que re-distribuir manualmente, ni tampoco que queden vacíos que requieran rellenarse posteriormente de la misma forma causando un “retrabajo”. El camión se debe ir moviendo lentamente hacia adelante, siguiendo las indicaciones del jefe de cuadrilla que va dirigiendo el canalón y distribuyendo el concreto. Este proceso de vaciado deberá tardarse no mas de 5 minutos, y durante éste tiempo debe estar llegando a obra el siguiente viaje, para revisar su calidad, y revenimiento de la misma forma que el anterior, de tal forma que al terminar el vaciado del camión anterior, éste último que llegó se coloque de reversa al lado del anterior, y se realice el mismo procedimiento de vaciado. Mientras se realiza el vaciado de éste camión revolvedor, otra cuadrilla procede a vibrar el concreto y a marcar en el concreto fresco, las “guías” niveladas con nivel óptico, y que servirán para “reglear” el concreto, nivelando el concreto ya colocado. Si el colado es por franjas, se puede emplear regla vibratoria, que se va recorriendo a lo largo de la franja ya colada, realizando el vibrado, y nivelación o regleado de la superficie. En caso de que se esté empleando una regla láser (Foto 1-4), éste equipo realiza con su brazo, y los rodillos vibratorios, de una sola pasada todo este procedimiento, el cuál simplemente se corrobora que la superficie del concreto esté a nivel con el nivel óptico. Durante éste procedimiento, el camión revolvedor siguiente ya debió terminar de vaciar su contenido, y el procedimiento se va repitiendo, hasta que se termina el vaciado completo de la losa. Una de las partes críticas en este proceso, es a lo que se le llama el “ajuste”, que es solicitar de la manera mas exacta posible, sólo lo necesario de concreto en el último camión revolvedor de manera que no se tengan desperdicios, o éstos sean mínimos, por lo que en el penúltimo viaje, o dependiendo del expertíz del residente de colados, el antepenúltimo viaje, se estima lo que falta de concreto, y se solicita dicho ajuste. Dependiendo de la distancia entre la planta y la obra, es el tiempo que se

tardará en llegar éste último viaje, por lo que se tiene que hacer con el tiempo necesario, para que no se tarde demasiado, causando falta de calidad en el último viaje de concreto. Adicional a esto se debe considerar, que la parte de la cimbra que se dejó sin colocar para que pudieran ingresar los camiones al área de colado, se debe colocar lo más rápido posible, de manera que quede alineada, nivelada adecuadamente, y fijada adecuadamente de forma que no se mueva por el empuje del concreto.

Durante todo éste proceso, con el concreto que se colocó previamente, se va “rasurando” con el bump cutter, que distribuye la pasta superficial, para evitar que se tengan pequeñas crestas y valles, mejorando la planicidad. Posteriormente se pasa encima del concreto la “flota”, con lo que se “cierra” la superficie del concreto, es decir, se van cerrando los microporos superficiales del concreto, en su estado aun fresco.

Una vez que el concreto tiene un fraguado inicial, de acuerdo a la experiencia de los “pulidores” se procede a meter los “platos” de allanado con las máquinas conocidas como “helicópteros” (Foto 6), que pueden ser individuales, o de hombre a bordo con doble hélice hasta que el concreto tiene una superficie pareja, y la pasta superficial ha secado lo suficiente. El siguiente paso es el pulido, el cual, mediante el uso de cuchillas, con las mismas allanadoras (Foto 7) a las cuales se les retiran los platos de flotado, realizan el pulido de la superficie, haciendo la misma más dura y densa, y hasta que ésta adquiere brillo. Las orillas se deben pulir a mano.

Finalmente, tratándose de un concreto convencional con cortes, se procede a realizar los mismos. Los cortes deberán realizarse tan pronto como el concreto se haya endurecido lo suficiente como para que no se rompa o se dañe por el disco, pero antes de que puedan formarse grietas aleatorias en la losa de concreto. Cortando en la misma secuencia en que fue colocado el concreto. Estos se realizan con cortadoras de disco de diamante especiales para concreto, y de acuerdo a la modulación óptima (que no deberá exceder en metros, 24 veces el espesor en cms.) y hasta 1/3 del espesor de la losa. En caso de que se trate de un concreto especial como postensado, o de concreto de contracción compensada, se omite éste paso de cortar el concreto.

El siguiente paso es el curado. Este se puede hacer de diferentes formas, inundándolas con agua, con mantas de curado, plástico, membrana de curado, etc. Para la membrana de curado puede hacerse con un rociador, brocha o rodillo. Este debe ser tan pronto como se termine el acabado, incluso antes del corte para evitar grietas plásticas, o grietas por contracción en la superficie del concreto. En caso de que se realice curado con manta, se debe programar con tiempo el viaje de una pipa con agua a la hora estimada que termine de cortar, o pulir, saturar la superficie, y cubrir las losas con la manta. En ocasiones se puede suministrar el agua directamente de alguna toma en la obra, o en su defecto se llena una cisterna previamente y se realiza el mismo procedimiento. El curado con plástico, se realiza de la misma forma. Es importante que durante 7 días se debe estar humedeciendo la losa, previendo el suministro de agua suficiente para dicho proceso.

El descimbrado y colocación de pasajuntas se debe realizar entre colado y colado, y se deben de retirar las cimbras una vez que el concreto ya esté lo suficientemente duro, sin que se desprendan pedazos del concreto al descimbrar. Las pasajuntas se deben retirar en cuanto el concreto tenga consistencia. Y estas se deberán engrasar y colocar nuevamente antes de colar la losa contigua. En caso de que se usen pasajuntas con fundas, las fundas se deben dejar ahogadas en la losa a colar fijándolas en la cimbra, y colocar posteriormente la barra o las placas de acero dentro de las fundas.

Días después se procede a colar los “Diamantes” necesarios para aislar las columnas del piso. Se deberán aislar los diamantes con material propio para ello, y colarse posteriormente.

Aproximadamente 90 días después se realiza el sello de juntas, tanto de control y construcción, como de aislamiento de diamantes y perimetral. Si el cliente requiere antes dicho trabajo, deberá tomar en cuenta que por la contracción propia del concreto, el sello puede desprenderse, y requerir de un “resello” posterior.

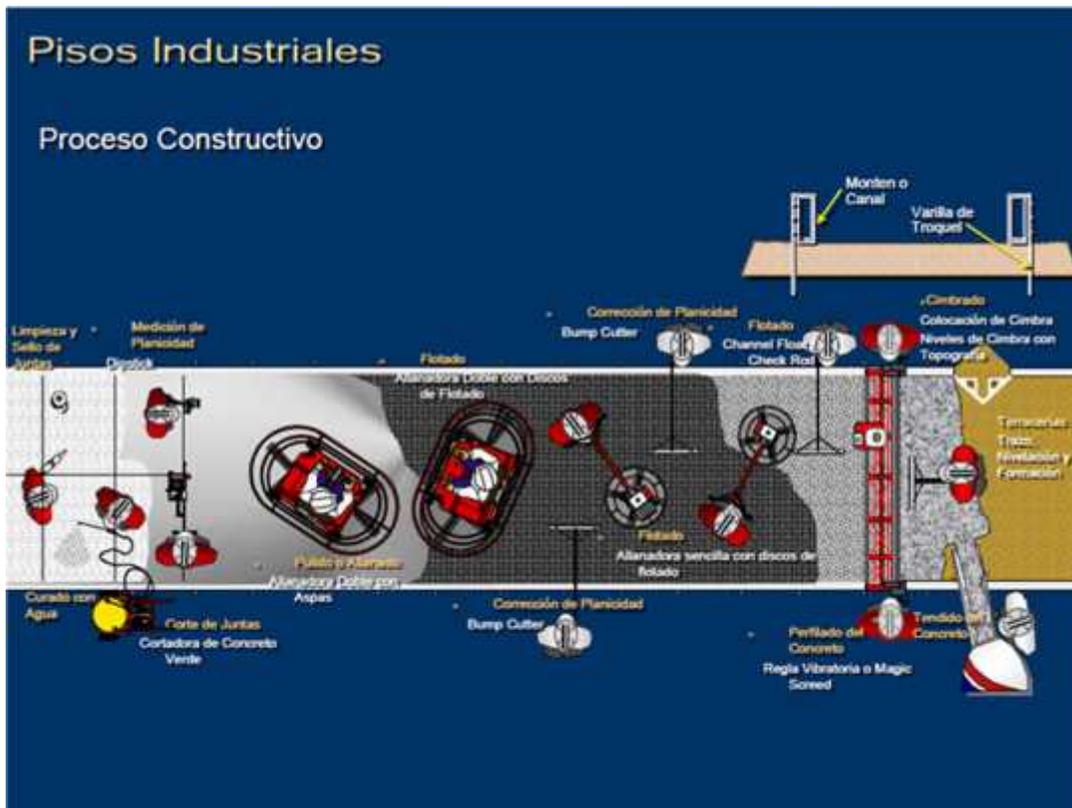


Ilustración 1. Proceso de colado de un piso, con regla vibratoria.

### 2.3 Análisis de los procesos con visión lean construction.

Considerando que el alcance de éste trabajo no será una “implementación” de Lean Construction en una empresa constructora de Pisos industriales, sino una referencia de las áreas de oportunidad, e identificar posibles ajustes en algunos de los procesos constructivos con visión Lean Construction, se presenta el siguiente estudio:

Conociendo que los indicadores mas importantes enfocados en los flujos, según la visión de Lean Construction deben ser Pérdidas, Valor, Tiempo de ciclos, y la Variabilidad, y para obtener algunas referencias de éstos, por medio de la aplicación del muestreo del trabajo y generando una carta de balance de la operación, se analizarán el proceso de habilitado de acero, y el proceso de colado, encontrando los resultados mostrados a continuación.

### **2.3.1.1 Descripción de la operación habilitado de acero**

1. Suministro de materiales: El acero se solicita al menos 1 o 2 días antes del colado, para proceder a habilitarlo. El material se solicita en tramos rectos, para evitar que se tenga que desdoblar en obra, generando un trabajo adicional y un costo adicional, adicionalmente se solicita alambre recocido para los amarres. El acero se solicita sea distribuido muy cerca del área de armado, para evitar acarrees. El material se suministra en atados de aproximadamente 2 tns cada atado. Por lo anterior se estima cuanto acero aproximadamente se lleva por losa, para tratar de distribuirlo de esta forma. Esto se busca hacer cuando llega el camión con el acero a la obra, y se le solicita al chofer que se vaya moviendo de acuerdo a las indicaciones del residente, contemplando el criterio anteriormente mencionado. Con ayuda de una retroexcavadora, se bajan los atados, o en caso de no contar con una, se requiere la ayuda de al menos 4 personas con barras de acero para empujar los atados al lado del camión.

2. Preparación del tramo y revisión de Niveles: Consiste en liberación del área de materiales, que la terracería esté compactada adecuadamente, que esté uniforme, sin cambios bruscos de nivel, y esté adecuadamente afinada la superficie. Se revisa con equipo propio de nivelación (Nivel óptico) los niveles de terracería, y se hace una inspección física. En caso de que se requiera hacer algún ajuste, se le solicita al encargado de la terracería que los realice. De lo contrario, se libera el tramo.

3. Trazo: Consiste en trazar los límites del colado, donde se tenderá el acero. Adicionalmente los fierreros deben de contar ya con la especificación de la separación del acero, y mediante una varilla previamente marcada con la separación, la usan de referencia para “marcar” en la terracería donde deben colocar la varilla en ambos sentidos.

4. Tendido del acero: Consiste en acarrear el acero de donde se descargó, al área de armado, y tender el acero, distribuyéndola de acuerdo a las marcas hechas previamente en la terracería.

5. En caso de que el acero requiera cortes en algunas áreas, un par de ayudantes se encargan de realizar dichos cortes, mientras que el resto de la cuadrilla siguen tendiendo el acero.

6. Amarre de las varillas: Consiste en amarrar en cada cruce o cada dos o tres cruces, con alambre recocido, y empleando un “gancho” especial para los fierreros, hacen un nudo apretado para evitar que se mueva el armado. En caso de tener algún ajuste en la separación de las varillas, antes de amarrarlas se deberá hacer.

7. Revisión general del armado: Finalmente de la parrilla armada se da un recorrido final por toda el área, y se da el visto bueno del armado, cuidando separación adecuada, amarre suficiente, detalles de diamantes o columnas adecuados, traslapes adecuadamente ubicados, y a los ejes o trazo indicado.

### **2.3.1.2 Análisis**

Encontramos en este proceso, que la distancia donde se ubicó el acero al área del armado, parece adecuada, ya que no se requiere mucho tiempo de traslado. El acero se descargó en el área de la losa adjunta a la que se está habilitando, teniendo la distancia mas larga de traslado de aproximadamente 20 mts. Adicionalmente, el armado se entregó en tramos rectos, y no se tendrá que realizar ningún retrabajo por enderezado de varilla. Por lo anterior, aparentemente no se presentan pérdidas, en el traslado de la varilla.

La cuadrilla en esta ocasión esta compuesta por un maestro Fierrero, y 4 ayudantes, que, considerando que se trata de varilla del número 4, que tiene un peso por tramo de 12m de varilla de aprox. 12 kg, pueden acarrear entre una pareja de ayudantes 8 o 10 tramos de varilla. Para este análisis del proceso, encontramos 2 personas exclusivamente acarreado y tendiendo el acero, 2 exclusivamente amarrando, y el oficial fierrero realizando supervisión, ajustes, detalles y acarreo del acero, por lo que también aparentemente es adecuado el número de personas asignadas para el armado. Para este proyecto, el armado contemplado es de varilla del no. 4 @ 35 cms. en ambos sentidos, lo que representa un total de 5.68 kg/m<sup>2</sup> de acero.

Si se tratara de varilla del no. 5 o mayor, que no es tan común, cada tramo de 12m pesa aprox. 19 kg, por lo que una pareja podría sólo acarrear y tender de 4 a 6 tramos de varilla, por lo que el rendimiento en esta parte del proceso seria menor, y se requerirían una mayor cantidad de ayudantes para el acarreo del material.



Se identificó la ubicación de los sanitarios, que se encuentran en un punto intermedio a toda la obra, y aproximadamente a unos 100 mts del área de habilitado, por lo que dicha ubicación también parece adecuada.



En cuestión de logística, para esta obra en particular, se requieren como trabajo intermedio al armado y al colado, la colocación de unos rieles para los racks, que se estaban realizando en la losa adjunta previamente armada, pero que sin embargo, había un área que se estaba habilitando y se traslapaba con el área de rieles que se estaban colocando a la par, lo que en un determinado momento pareció interferir el tendido del acero, con los hilos de trazo de los rieles, provocando algo de molestia para el personal de los rieles.

### 2.3.1.3 Medición

Considerando la operación de habilitado de acero, se registraron y analizaron las actividades o tareas descritas previamente, a través de un muestreo por tareas, para identificar los trabajos productivos, los trabajos no contributivos (Ocio, Baño, esperas, detenciones, retrabajos, etc.) y los trabajos contributivos (instrucciones, transporte manual, aseo, etc.), obteniendo finalmente una carta de balance y el análisis de distribución del tiempo para la cuadrilla asignada a esta operación.

Debido a que los ciclos individuales pueden ser relativamente cortos (como por ejemplo acarreo de varilla y tendido, amarre, cortes, ajustes, etc.), se tomó la consideración de analizar la operación completa en un lapso de casi 30 minutos de observación, abarcando varios ciclos de las diferentes tareas asignadas para esa operación ese día específico (25 de Julio de 2012).

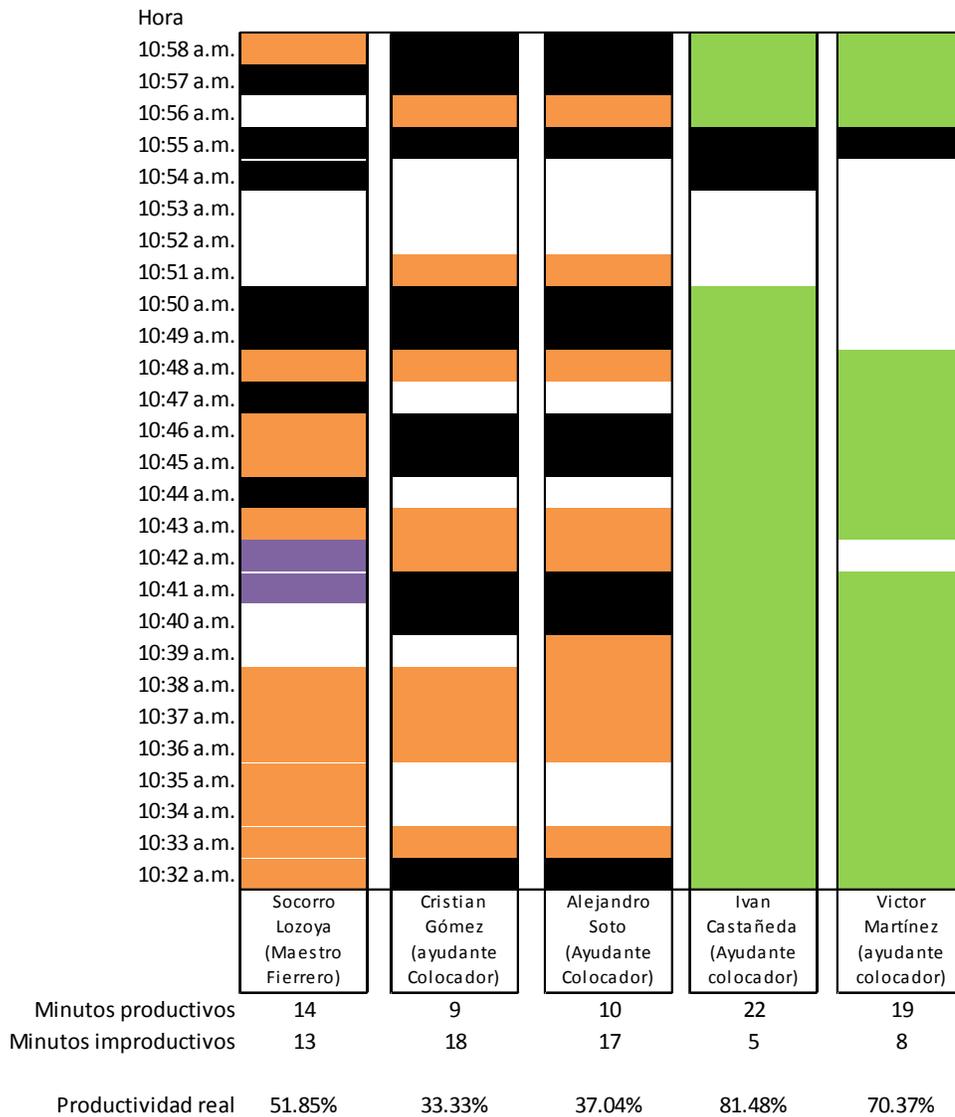


Los resultados fueron los siguientes:

<b>HOJA DE OBSERVACIONES PARA MUESTREO POR TAREAS</b>					
<b>Universidad Panamericana</b>					
Obra	<b>Construcción de piso en GDL</b>				
Observador	Robeto Michel			fecha: 25 de Julio 2012	
Operación :	Armado de parrilla de acero			Losa 5 de aprox 630m2	
Tiempo (minutos y hora inicio)	Socorro Lozoya (Maestro Fierro)	Cristian Gómez (ayudante Colocador)	Alejandro Soto (Ayudante Colocador)	Ivan Castañeda (Ayudante colocador)	Victor Martínez (ayudante colocador)
1 (10:32 am)	T	Ac	Ac	A	A
2	T	T	T	A	A
3	T	R	R	A	A
4	T	R	R	A	A
5	T	T	T	A	A
6	T	T	T	A	A
7	T	T	T	A	A
8	N	N	T	A	A
9	N	Ac	Ac	A	A
10	D	Ac	Ac	A	A
11	D	T	T	A	N
12	T	T	T	A	A
13	Ac	N	N	A	A
14	T	Ac	Ac	A	A
15	T	Ac	Ac	A	A
16	Ac	N	N	A	A
17	T	T	T	A	A
18	S	Ac	Ac	A	B
19	S	Ac	Ac	A	B
20	N	T	T	N	B
21	N	N	N	N	B
22	N	N	N	N	B
23	I	N	N	I	B
24	I	I	I	I	I
25	N	T	T	A	A
26	Ac	Ac	Ac	A	A
27	T	Ac	Ac	A	A
Actividades	T-Tendido varilla A- Amarre	I - Instrucciones Ac- Acarreo varilla		B-Baño	
N- Nada	R- Reacomodo varilla	S - Supervisión		D - Detalle en Columnas	

Obteniendo la siguiente carta de balance:

<b>CATEGORIAS</b>	
	Tendido/acomodo varilla
	Amarre
	Detalle en Columnas
	Trabajo no Contributorio
	Trabajo Contributorio

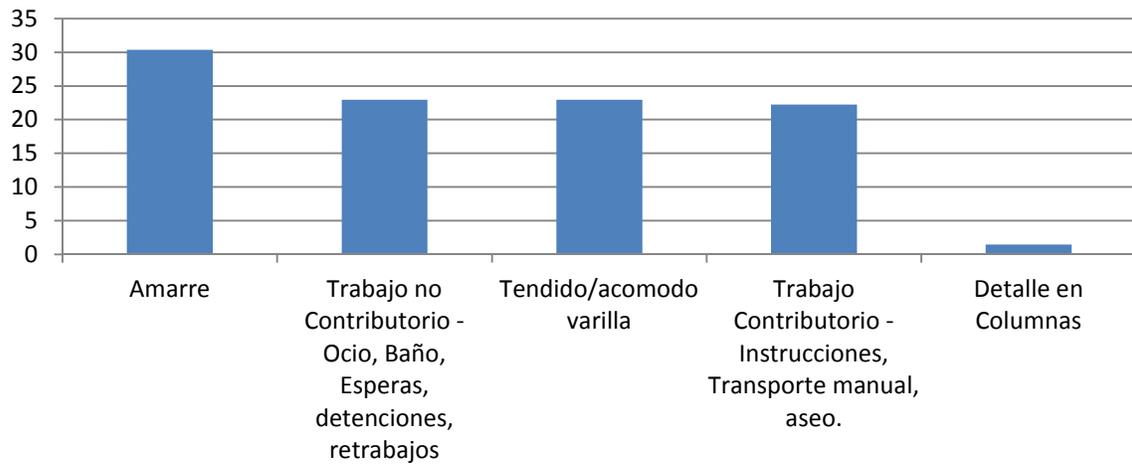


Distribución del tiempo para la cuadrilla de habilitado de acero:

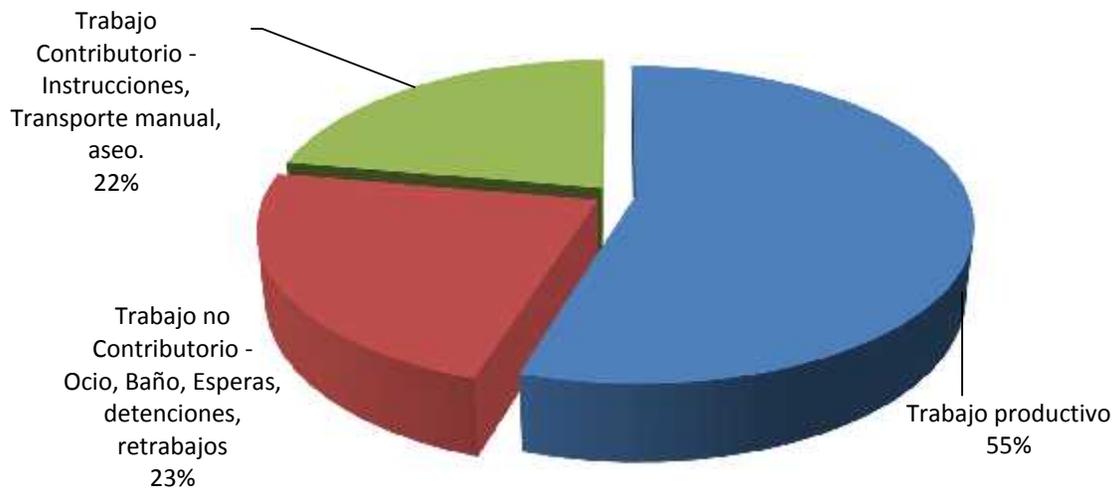
	Socorro Lozoya (Maestro Fierro)	Cristian Gómez (ayudante Colocador)	Alejandro Soto (Ayudante Colocador)	Ivan Castañeda (Ayudante colocador)	Victor Martínez (ayudante colocador)	CUADRILLA
Nivel de actividad real	14	9	10	22	19	74
Nivel de actividad relativo	21	19	20	24	20	104
Coefficiente de participación	0.66666667	0.47368421	0.5	0.91666667	0.95	0.711538462

	Tendido/acomodo varilla	12	9	10	0	0	31
	Amarre	0	0	0	22	19	41
	Detalle en Columnas	2	0	0	0	0	2
	Ocio, Baño, Esperas, detenciones, retrabajos	6	8	7	3	7	31
	Instrucciones, Transporte manual, aseo.	7	10	10	2	1	30

## Gráfico de la distribución del tiempo (porcentaje)



## Gráfico de la distribución del tiempo (porcentaje)



#### **2.3.1.4 Resultados**

Durante el periodo de observación, y en base a las gráficas presentadas, se identifica que el nivel de productividad es relativamente aceptable, aunque en los últimos minutos de observación, se incrementaron los trabajos no contributivos, (baño, plática, descanso y toma de agua), que disminuyeron el porcentaje del trabajo productivo y el trabajo contributivo a un 55% y 22% respectivamente. Sin embargo, en general se pudo observar buena organización de la cuadrilla, distribución adecuada de las actividades, y un rendimiento aceptable, teniendo como resultado pocas pérdidas en el proceso. Esto tiene que ver con una planeación previa adecuada en cuanto a la ubicación del acero, y que éste estuviera en tramos rectos, así como tener ubicada una toma de corriente para la cortadora de varilla, con suficientes metros de extensión para tener cerca del tramo a habilitar la propia cortadora, estas actividades pueden considerarse que agregaron valor al proceso. En cuanto a la coordinación con otros trabajos, si se observó un área de oportunidad, para evitar estorbarse con trabajos intermedios específicos de este proyecto, que era la colocación de rieles. Los tiempos de ciclo también son relativamente cortos, y en este proceso en específico, existe poca variabilidad, y se tienen identificados los hitos o puntos críticos que ayudan a reducir dicha variabilidad.

El área total para habilitar este día era de 600 m<sup>2</sup>, por lo que el total de kg para habilitar con traslapes era aproximadamente de 3,580 kg. Los trabajos se iniciaron a las 8 am, y se terminaron a las 5pm, con 1 hora para comida. Por lo que la productividad en HH, fue de 40 HH / 3,580kg es decir 0.0112 HH/kg. Esto representa que aproximadamente cada 40 segundos se deja habilitado 1 kg de acero, que se puede considerar como un rendimiento aceptable, pero que definitivamente se puede mejorar.

#### **2.3.1.5 Conclusión**

En general, se observaron pocas pérdidas, hubo algunas actividades previas que agregaron valor, y disminuyeron la variabilidad del proceso, y los tiempos de ciclo fueron adecuados.

Es importante considerar que las actividades predecesoras como la preparación de la terracería, o el colado de las contratrabes de los rieles, el trazo del área de colado, el envío y ubicación para el material en cantidad suficiente, se tuvieron que realizar de manera

adecuada, y bien coordinada para poder realizar ésta actividad, y hasta éste punto, se iba dentro del programa.

### **2.3.1.6 Propuestas de mejoras**

Resulta importante coordinar de una mejor forma las actividades que pueden traslaparse, con anticipación y con todos los involucrados, de manera que se contemple, tener libre el área para cada actividad sin entorpecer un trabajo al otro, o darle prioridad a las posibles zonas donde existan traslapes entre actividades, adelantando por horas o días el habilitado de toda el área. También considerar el delimitar, aislar e identificar claramente las áreas de trabajo, y dentro de lo posible ubicar pasos temporales fuera del área que se está habilitando, y que cumplan con niveles de seguridad adecuados para que los fierros puedan trabajar libremente, sin tener la posibilidad de golpear a alguien, o que alguien se dañe con las varillas que se están habilitando.

Adicionalmente y complementando la filosofía Lean Construction aplicada a este proceso, existen innovaciones que pueden ser aplicadas, buscando mejorar los índices presentados. Entre estas innovaciones puede ser el empleo de la “Malla de Ingeniería”, que es Acero de refuerzo prefabricado en hojas con grado 50 y 60 que sustituye varillas grado 42, que es hecha a la medida del proyecto y que puede ahorrar hasta 75% en mano de obra del habilitado de la varilla, puede ser hasta 5 veces más rápido vs habilitado varilla grado 42 y no hay desperdicio de acero.



Otra opción de innovación y mejora en este proceso, es el empleo de amarradores automáticos como el Max Rebar Tier, o los amarres plásticos, con el Kodi Klip connection System, que hacen el proceso de amarre mucho mas ágil y rápido.



### 2.3.2.1 Descripción de la operación colado de losa

Para el siguiente análisis se toma como referencia un trabajo previo hecho en agosto de 2011 para la materia de control de recursos de la Maestría en administración de la construcción.

Descripción de actividad:

1. Llegada del concreto a la obra. Debe ser un proceso continuo para evitar la formación de juntas frías. El residente como responsable de obra programa junto con la empresa concretera los horarios de inicio así como el tiempo entre unidades para su llegada.

2. Revenimiento. La prueba debe ser determinada para cada una de las unidades, el criterio de aceptación es de 10 cm con una tolerancia de  $\pm 1$  cm. En caso de no cumplir con el revenimiento se debe retirar de la obra, y no se acepta hasta que se corrija. El responsable de esta actividad es el técnico laboratorista.

3. Descarga y colocación. El jefe de cuadrilla dirige la unidad mezcladora al área por colar y realiza la colocación y distribución del concreto con ayuda del movimiento lateral de los canalones.

4. Distribución. Los paleadores completan la distribución del concreto en toda el área.

5. Vibración. El vibrado se realiza con vibradores internos cuando se coloca concreto en contacto con concreto ya fraguado con el fin evitar vacíos, ya que posteriormente la maquina se encarga del acomodo del resto del concreto.

6. Compactación y enrasado. La enrasadora con control laser o regla láser (Foto 1-4) realiza la compactación de y enrasado del concreto. Enrasar es el acto de nivelar el concreto que se extiende arriba del plano o perfil deseado para obtener una rasante determinada (ACI-302). El equipo se complementa con un nivel, un sensor laser y un estadalero el cual periódicamente revisa la planicidad del piso.

7. Acabado: • Allanado. Se utiliza para consolidar compactar superficies irregulares del concreto recién colocado y donde el quipo laser no tuvo acceso, este proceso se realiza inmediatamente después del enrasado. • Pulido. Es el proceso para alisar y compactar la superficie del concreto una vez que se ha terminado la operación de aplanado.

### **2.3.2.2 Análisis**

El área a colar se encontraba adecuadamente preparada, con la barrera de vapor perfectamente colocada, el armado completo, las cimbras perimetrales y de los diamantes colocados y nivelados, pasajuntas ya colocados, el personal ya listo para el inicio que estaba programado para las 9 pm. Sin embargo se tuvo un retraso en el inicio por lluvia, y trabajos adicionales que se tuvieron que realizar en el acceso a la nave. Posteriormente con el primer camión revolvedor que llegó a obra, se tuvo que regresar a planta por no cumplir con la calidad adecuada y solicitada, en este caso por el revenimiento bajo. Una vez que inició el colado se continuó de manera adecuada con los ciclos, hasta el 5to camión revolvedor que también se tuvo que regresar por el mismo problema. Por esta situación se tuvo un cambio en el ciclo y un lapso de espera considerable, que pudo afectar en la calidad del acabado del piso, además de afectar la productividad de los trabajadores. Posteriormente se ajustó ligeramente el ciclo, aunque se tuvo un promedio de espera en obra sin concreto de 12 minutos.

Este es un proyecto de un piso sin juntas intermedias, que requiere ser colado monólicamente, y por ningún motivo puede interrumpirse el colado hasta tener al 100% colada la losa, es decir, no se pueden improvisar tapones de cimbra por alguna falla en el proceso de suministro o colocación, y la losa tendría que ser demolida en su totalidad. Por

esta cuestión es un colado que requiere toda la atención de los involucrados, y tener planes de contingencia para realizar el colado completo de la losa. Por esa razón no se inició el colado, sino hasta estar seguros de que se tenían las condiciones para iniciar, y continuar sin interrupciones o mas imprevistos.

Un elemento que ayuda en la calidad de la nivelación y planicidad del piso, principalmente en este tipo de pisos, realizando un trabajo mas eficiente es el empleo de la regla láser, que simplifica los procesos de extendido, nivelado, compactado, y enrasado.

### 2.3.2.3 Medición

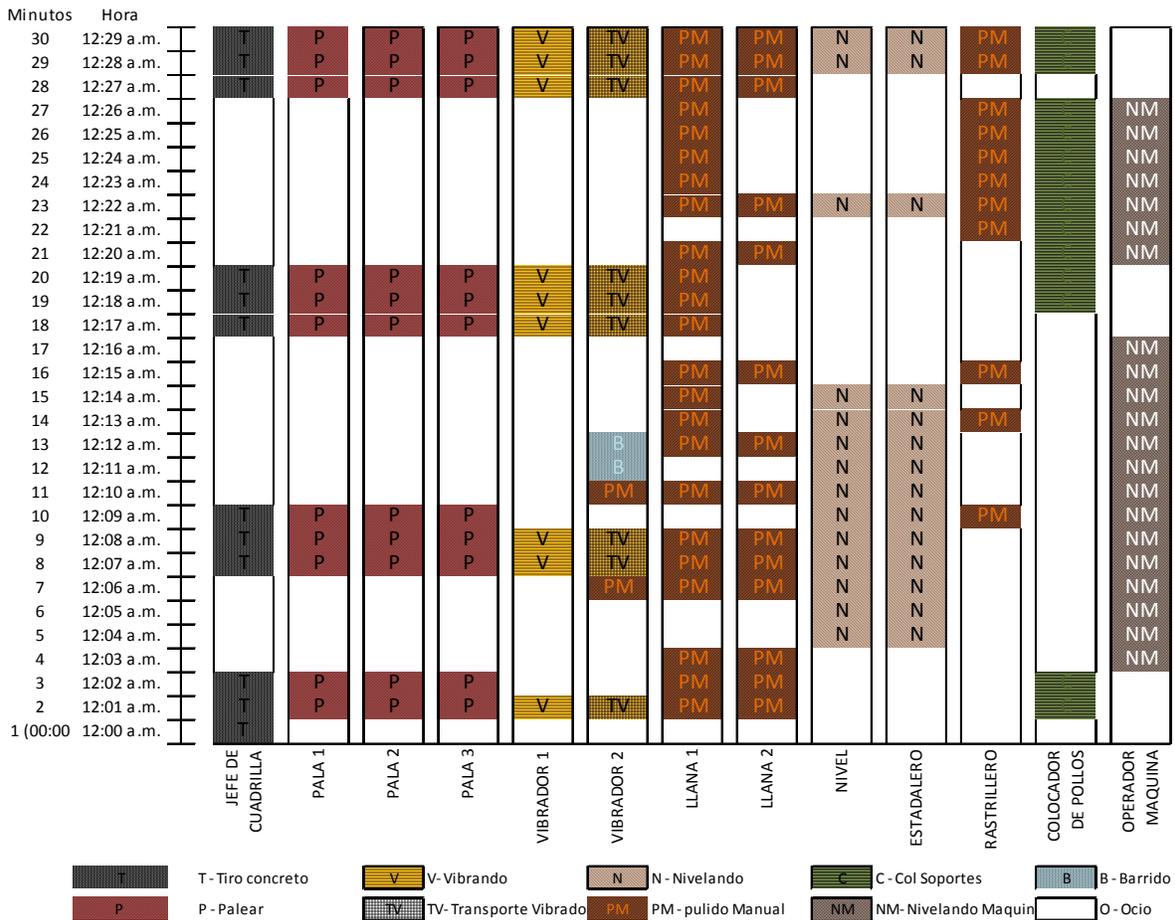
El proceso descrito fue observado durante 4 ciclos completos, encontrando variaciones mínimas en tiempo.

HOJA DE OBSERVACIONES PARA MUESTREO POR TAREAS													
Obra	Colado de Losa de Pavimento sin contraccion Lineal en la Planta de Urrea										Fecha: 11 de Agosto 2011		
Tiempo (minutos y hora inicio)	Jefe de Cuadrilla Tiro concreto	Pala 1	Pala 2	Pala 3	Vibrador 1	Vibrador 2	Llana 1	Llana 2	Nivel	Estadal	Ratrillo	Colocador de soportes	Operador de Maquina
1 (00:00 am)	T	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
2	T	P	P	P	V	TV	PM	PM	O	O	O	C	O
3	T	P	P	P	O	O	PM	PM	O	O	O	C	O
4	O	O	O	O	O	O	PM	PM	O	O	O	O	NM
5	O	O	O	O	O	O	O	O	N	N	O	O	NM
6	O	O	O	O	O	O	O	O	N	N	O	O	NM
7	O	O	O	O	O	PM	PM	PM	N	N	O	O	NM
8	T	P	P	P	V	TV	PM	PM	N	N	O	O	NM
9	T	P	P	P	V	TV	PM	PM	N	N	O	O	NM
10	T	P	P	P	O	O	O	O	N	N	PM	O	NM
11	O	O	O	O	O	PM	PM	PM	N	N	O	O	NM
12	O	O	O	O	O	B	O	O	N	N	O	O	NM
13	O	O	O	O	O	B	PM	PM	N	N	O	O	NM
14	O	O	O	O	O	O	PM	O	N	N	PM	O	NM
15	O	O	O	O	O	O	PM	O	N	N	O	O	NM
16	O	O	O	O	O	O	PM	PM	O	O	PM	O	NM
17	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	NM

18	T	P	P	P	V	TV	PM	O	O	O	O	O	O
19	T	P	P	P	V	TV	PM	O	O	O	O	C	O
20	T	P	P	P	V	TV	PM	O	O	O	O	C	O
21	O	O	O	O	O	O	PM	PM	O	O	O	C	NM
22	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	PM	C	NM
23	O	O	O	O	O	O	PM	PM	N	N	PM	C	NM
24	O	O	O	O	O	O	PM	O	O	O	PM	C	NM
25	O	O	O	O	O	O	PM	O	O	O	PM	C	NM
26	O	O	O	O	O	O	PM	O	O	O	PM	C	NM
27	O	O	O	O	O	O	PM	O	O	O	PM	C	NM
28	T	P	P	P	V	TV	PM	PM	O	O	O	O	O
29	T	P	P	P	V	TV	PM	PM	N	N	PM	C	O
30	T	P	P	P	V	TV	PM	PM	N	N	PM	C	O
<b>Actividades</b> T - Tiro concreto P - Palear V- Vibrando TV- Transporte Vibrador N - Nivelar													
PM - Pulido Manual C - Col Soportes NM- Nivelando Maquina B - Barrido O - Ocio													

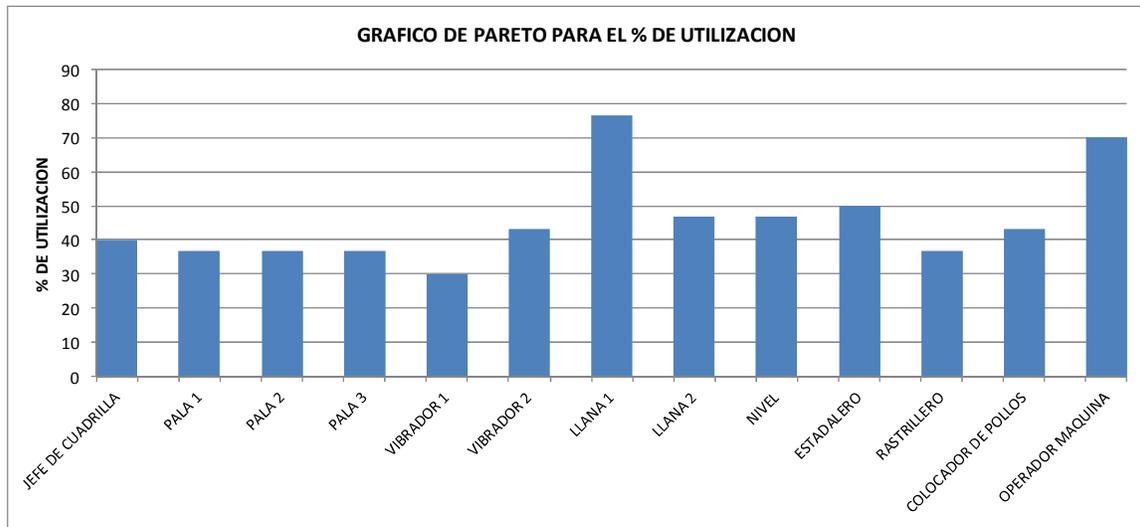
Obteniendo la siguiente carta de balance:

**CARTA DE BALANCE DE LAS ACTIVIDADES DE COLOCACION DE UN PISO INDUSTRIAL SIN JUNTAS**



**DISTRIBUCION DEL TIEMPO DE LAS ACTIVIDADES DE COLOCACION DE UN PISO INDUSTRIAL SIN JUNTAS**

	JEFE DE CUADRILLA	PALA 1	PALA 2	PALA 3	VIBRADOR 1	VIBRADOR 2	LLANA 1	LLANA 2	NIVEL	ESTADALERO	RASTRILLERO	COLOCADOR DE POLLOS	OPERADOR MAQUINA
NIVEL DE ACTIVIDAD REAL	40.0	36.7	36.7	36.7	30.0	43.3	76.7	46.7	46.7	50.0	36.7	43.3	70.0
NIVEL DE ACTIVIDAD RELATIVO	60.0	63.3	63.3	63.3	70.0	56.7	23.3	53.3	53.3	50.0	63.3	56.7	30.0
COEFICIENTE PARTICIPACION	0.7	0.6	0.6	0.6	0.4	0.8	3.3	0.9	0.9	1.0	0.6	0.8	2.3



Vista general de la obra



Recepción de unidades (revenimiento)



Descarga del concreto.



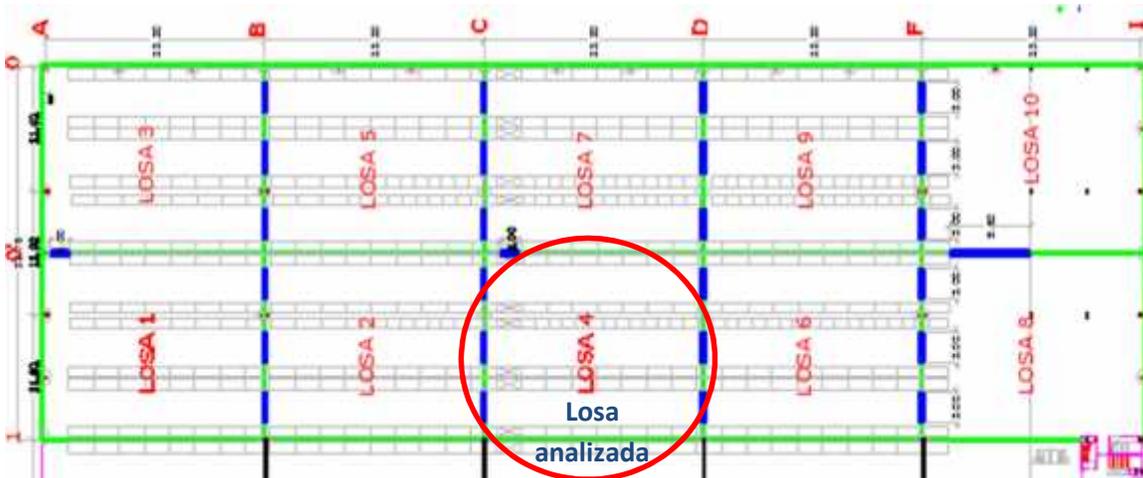
Distribución



Nivelación y vibrado.



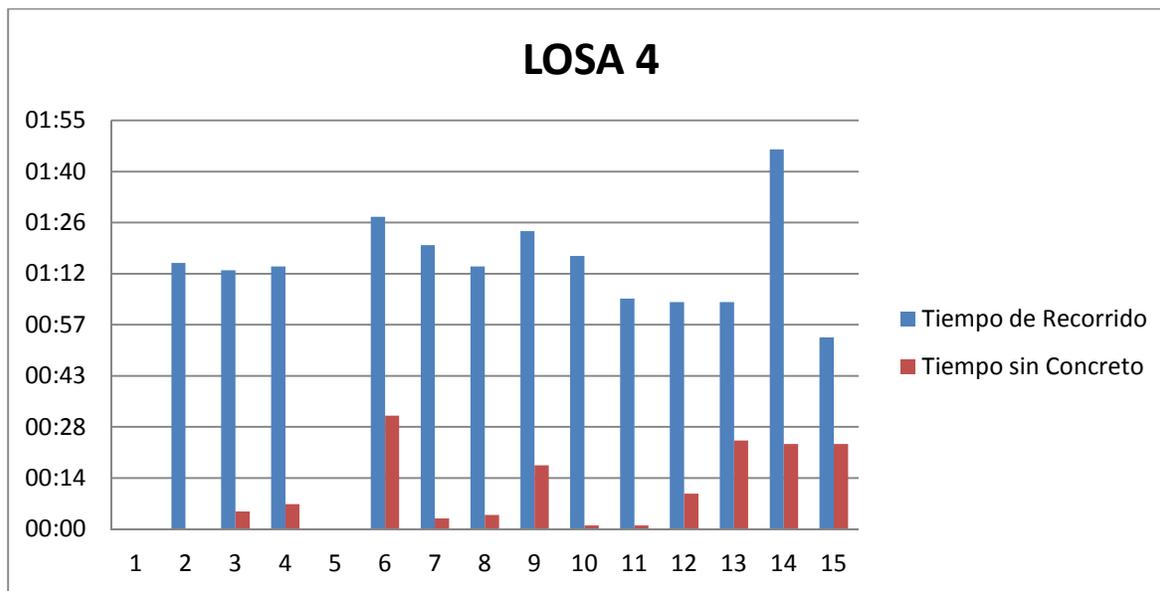
Final de 2do ciclo inicio 3ro.



Adicionalmente se pudieron registrar los tiempos de ciclo de los trompos, obteniendo la siguiente información:

Fecha de Colado: Jueves 11 de Agosto 2011									
	No	CR	Hr. Salida de Planta	Hr. Llegada a Obra	Hr. Tiro	Hr. Salida	Rev.	Tiempo de Recorrido	Tiempo sin Concreto
LOSA 4	1	3570		12:00 a.m.	Regreso	Regreso	7.5		
	2	2209	11:10 p.m.	12:13 a.m.	12:25 a.m.	12:28 a.m.	9.5	01:15	
	3	2083	11:20 p.m.	12:24 a.m.	12:33 a.m.	12:35 a.m.	9	01:13	00:05
	4	2526	11:28 p.m.	12:36 a.m.	12:42 a.m.	12:45 a.m.	12.5	01:14	00:07
	5	2254		12:47 a.m.	Regreso	Regreso	7		
	6	3588	11:49 p.m.	12:58 a.m.	01:17 a.m.	01:20 a.m.	8.5	01:28	00:32
	7	3109	12:03 a.m.	01:21 a.m.	01:23 a.m.	01:24 a.m.	9	01:20	00:03
	8	3117	12:14 a.m.	01:23 a.m.	01:28 a.m.	01:30 a.m.	12.5	01:14	00:04
	9	1833	12:24 a.m.	01:38 a.m.	01:48 a.m.	01:52 a.m.	11	01:24	00:18
	10	2910	12:36 a.m.	01:45 a.m.	01:53 a.m.	01:55 a.m.	13	01:17	00:01
	11	2283	12:51 a.m.	01:46 a.m.	01:56 a.m.	01:57 a.m.	11.5	01:05	00:01
	12	2926	01:03 a.m.	01:55 a.m.	02:07 a.m.	02:11 a.m.	12.5	01:04	00:10
	13	2209	01:32 a.m.	02:30 a.m.	02:36 a.m.	02:38 a.m.	12.5	01:04	00:25
	14	3570	01:15 a.m.	02:51 a.m.	03:02 a.m.	03:06 a.m.	12	01:47	00:24
	AJ	2526	02:36 a.m.	03:25 a.m.	03:30 a.m.	03:40 a.m.	10	00:54	00:24
						MAX=	13	01:47	00:32
						MIN=	7	00:54	00:01
						PROM=	11	01:15	00:12

Y gráficamente:



Lo que nos permite analizar los tiempos que la concretera debe o debió considerar para poder tener continuidad en el tiro o vaciado del concreto, y no tener tiempos sin concreto en obra. Para este caso se observa que el primer camión y el 5to camión fueron regresados por falta de calidad en el concreto (revenimiento bajo), lo que requiere un ajuste inmediato en los tiempos para evitar diferencias en el fraguado del concreto, y por ende falta de calidad en el terminado. También nos habla sobre la importancia del suministro y los cuidados de

calidad que el concreto debe tener para que el resto del proceso del colado sea más eficiente y tenga menos pérdidas.

#### **2.3.2.4 Resultados**

Este proceso si tiene una mayor variabilidad en cuanto a los tiempos, pues se depende del proveedor de concreto, sus unidades disponibles, y sus tiempos de ciclo, considerando el llenado de los camiones revolvedores en planta, traslados a la obra, revisión de revenimientos o muestras de calidad, maniobras, y vaciado del concreto. En cuanto al proceso de calzar el acero con las silletas o pollos, vaciado, extendido, nivelado, compactado, y enrasado, la variabilidad no es mucha, pues como se observa en las gráficas, los tiempos de ocio, son específicos a la espera de los camiones revolvedores, y del tiempo de operación de extendido con la regla láser. Los tiempos son relativamente cortos para que el personal pueda realizar otra actividad durante este periodo, sin embargo, se puede observar una sobreasignación de recursos, pues las cuadrillas pueden ajustarse a una menor cantidad que realicen la misma cantidad de trabajo.

El proceso de flotado y pulido, si puede tener una variabilidad mayor en tiempos, pues pueden existir condiciones que no permitan el fraguado homogéneo del concreto, generando mayores o menores tiempos para el pulido. En estos casos la experiencia del maestro pulidor, debe influir para regular el proceso de pulido.

En cuanto a la productividad, podemos mencionar que el área a colar era de aproximadamente 415m<sup>2</sup>, con un volumen de concreto de aproximadamente 75 m<sup>3</sup>. El colado duró aproximadamente 3 horas 27 minutos, por lo que la productividad o rendimiento es de  $44.85 \text{ HH} / 415\text{m}^2 = 0.108 \text{ HH}/\text{m}^2$  o en m<sup>3</sup>,  $44.85 \text{ HH} / 75\text{m}^3 = 0.6 \text{ HH}/\text{m}^3$ , o que se colocan 1.67 m<sup>3</sup> por cada HH.

#### **2.3.2.5 Conclusiones**

Existen actividades que aportan valor, como el uso de la regla láser, que realiza en menor tiempo y con mejor calidad el extendido, nivelado, compactado, y enrasado, que con una adecuada supervisión y coordinación con el suministro de concreto, puede disminuir los recursos humanos, y los tiempos del colado. (Foto 1-4)

En cuanto a pérdidas, podemos mencionar que para este colado específico, los imprevistos fueron una razón importante que retrasó el inicio del colado, ya que se tenía programado iniciar a las 9:00 p.m. y por razones de lluvia y accesibilidad se retrasó hasta las 12:00 p.m. una vez que se cumplieron con las condiciones de seguridad requeridas por el proveedor del concreto, mismas que consistían en la ampliación de la rampa de acceso, mejora en el camino, iluminación y presencia de una retroexcavadora para dar mantenimiento continuo a la rampa y camino.

Llegó la primera unidad sin embargo esta no cumplió con la prueba de revenimiento por lo que se rechazó dicho material, llegando de manera continua 5 unidades siendo la cuarta retirada por las mismas razones que el primero. Esto se considera como el principal problema o área de mejora en el proceso (revenimiento y tiempos de entrega). El análisis de los tiempos adecuado por parte de la concreteira, así como un plan de contingencia, y análisis de riesgos, es de vital importancia en este tipo de proyectos.

Se observó que la mayor parte del proceso existe personal que realiza trabajo no contributivo, y que el recurso humano puede estar sobreasignado, por lo que en las propuestas de mejora, se presenta un ajuste en las asignaciones.

#### **2.3.2.6 Mejoras del proceso**

A continuación se presentan algunas observaciones de mejora para el proceso de colado:

- a) Mayor involucramiento del Ingeniero residente de obra en los preparativos previos al colado.
- b) Revisión de accesos a la obra, ruta de ingreso, maniobra dentro de la nave, salida y área de lavado.
- c) Ya que los trabajos se realizan en horario nocturno, se debe revisar la iluminación de la zona de trabajo y sus accesos, prever un equipo adicional como repuesto en caso de falla del principal.
- d) Reasignación de actividades:
  - Jefe de cuadrilla.- Dejar de verter el concreto y dedicarse a supervisar de manera directa al personal. Uno de los paleadores tomara esta posición.
  - Paleadores.- Se reasigna uno de ellos y solo quedan dos.

- Vibradores.- Uno de los vibradores realizar actividades también de allanadores.
  - Allanadores.- Se disminuye a uno solo.
  - Nivelador.- El jefe de cuadrilla toma esta posición y se suprime esta persona.
  - Estadalero. Se suprime esta persona y uno allanadores realiza la función.
  - Colocador de los pollos. Se suprime esta persona y los paleadores toman la posición.
  - Rastrillador.- No sufre modificaciones.
  - Operador de Maquina.- No sufre modificaciones.
- e) Contar con vibradores de repuesto, ya que solamente se apreció uno en obra.
- f) Dialogar con la cuadrilla sobre la importancia de no realizar actividades que distraigan la atención de sus compañeros, así como los externos ya que se apreció al momento del tiro del concreto que todo el personal gritaba sin control confundiendo al operador del trompo.
- g) Hacer notar a la cuadrilla sobre la importancia de no brincar o balancearse sobre las varillas de refuerzo ya que tal situación se apreció cuando los paleadores no tenían actividad, esto genera oquedades en el concreto con lo que se demerita su calidad.
- h) Revisión de equipo adecuado y de seguridad del todo el personal.
- i) Retroalimentar a la empresa concretera sobre los detalles encontrados en el proceso relativos a su producto y como esta situación pudiera causar fallas en el producto final.

Reunión previa entre los involucrados (concretera, cliente final, coladores) para establecer en conjunto tiempos de ciclo, análisis de posibles riesgos, y plan de contingencia, de manera tal que no se tenga que improvisar, y tener fallas de calidad, tiempo y costo.

La concretera debe tener considerado cualquier imprevisto, como fallas en la planta, en los camiones revoladores, o en el trayecto algún congestionamiento vial. Este último se prevé con los horarios de colados, que se programan muy temprano en la mañana (5am) o en la noche (9 pm), para minimizar riesgos de tráfico.

En cuanto a innovación, en este proceso se emplea tecnología que agiliza el proceso de colado, como lo es la regla láser o extendedora láser (Foto 1-4), que equivale a realizar el proceso de extendido, nivelado, compactado, y enrasado con una cuadrilla de al menos 4 o 5 personas mas. Otro proceso innovador, son los pisos sin juntas (Foto 9-10), que eliminan

hasta el 80% de los cortes intermedios, y sello de los mismos de las losas. Sin embargo, hay áreas de oportunidad en la prevención de imprevistos, como fallas mecánicas, principalmente una que puede impactar de manera importante, es una falla en la regla láser, por lo que se tiene que prever contar con el equipo y la gente suficiente para sustituir el proceso que realiza éste equipo. Se debe de contar en obra con al menos: 2 vibradores de inmersión, 2 reglas portátiles magic screed, nivel óptico, estatal, enrasadores adicionales, y tener previsto el reacomodo de las actividades asignadas a cada persona. Se debe tener buena comunicación con la concretera, para que se espacien más los viajes de camiones revolvedores.

#### **2.4 Análisis general de los procesos de construcción de pisos industriales**

En general, en esta empresa dedicada a la construcción de pisos industriales, se tienen algunas buenas prácticas que generan valor a lo largo de todo el proceso de construcción, como lo es el know how, en cuestión de diseño y construcción, realizando propuestas integrales, y mediante una revisión previa de los proyectos, se busca optimizar los materiales, emplear espesores adecuados para las cargas a las que será sometido el piso, prever fallas o daños futuros a los pisos, etc., mediante el conocimiento de las normas internacionales, certificaciones y participación activa en comités internacionales con el ACI (American Concrete Institute). Esto además permite estar a la vanguardia en técnicas, procedimientos y tecnología para el diseño y construcción de pisos de concreto nuevos, y procedimientos de reparación de pisos viejos o dañados.

Adicionalmente se han iniciado nuevas prácticas que pueden facilitar la implementación y aplicación de Lean Construction, como lo es la identificación física mediante placas y un número económico de todos los equipos, y herramientas empleados en cada uno de los procesos de construcción de pisos. Adicionalmente se pretende elaborar un manual de procedimientos detallado con ésta información.



En el tema de proveedores, se tienen identificados perfectamente los mismos, y los tipos de materiales que manejan, así como una comunicación constante para tener actualizados los precios, identificadas las existencias, así como productos sustitutos. Además de tener ya créditos trabajados y autorizados con anticipación.

Sobre la planificación, se realizan programas sencillos, pero específicos de los días y volúmenes de colado, así como si se requiere bombeo o no para programar con anticipación el equipo (Fig. 2). Generalmente se tienen reuniones previas con el cliente y la concretera para coordinación de los trabajos previos necesarios, instalaciones, requisitos de seguridad, así como para establecer los horarios de los colados, buscando que pueda existir un suministro constante.

Ya en la obra, otra práctica que aporta valor, es la verificación de los niveles de las terracerías. En caso de que los niveles no cumplan, se excedan, se queden cortos, o tengan alguna deficiencia como baches, desniveles, mala compactación, se solicita sean arreglados para evitar sobre volúmenes de concreto, espesores menores a los de diseño, desniveles o cambios bruscos en la terracería, que afecten la calidad del piso terminado.

Por otro lado, el recurso humano que construye los pisos, son gente de mucha experiencia, pero que les resulta difícil adaptarse a nuevas técnicas, o tecnología, y existe una resistencia al cambio, por lo que implementar un sistema como el último planificador (Last planner), tomaría tiempo, trabajo de convencimiento, y capacitación adicional para poder aplicar ésta técnica en la empresa.

Adicionalmente al ser comúnmente proyectos muy rápidos, y muchas veces foráneos, se requiere una planeación muy ágil y dinámica, adaptable a las diferentes regiones del país, y a las diferentes constructoras y/o clientes, incluyendo aquellos nuevos o poco recurrentes.

También es necesario generar una comunicación mas efectiva entre oficina central y las obras, así como una mejor planeación involucrando a ambas partes, pues la gente de campo se entera muchas veces de las decisiones tomadas en oficina central sin ser tomados ellos en cuenta, siendo éstos últimos los que se enfrentan con situaciones no contempladas en la obra, que pueden generar pérdidas, y que no aporten valor.

Finalmente al ser proyectos rápidos, es difícil aplicar algunos conceptos Lean, como el porcentaje de actividades completadas (PAC) que es el número de actividades planificadas Completadas dividido por el número total de actividades planificadas, expresadas como porcentaje, puesto que en una o dos semanas de trabajos el 95% de los proyectos se realizan de acuerdo a lo planeado. En caso de no cubrirse en éste tiempo, se generan costos adicionales principalmente en obras foráneas, por viáticos, y por días perdidos por tener a la gente sin poder realizar otros trabajos u otras actividades dentro de la obra, al ser contratados exclusivamente para los pisos. Para obras más grandes de duración mayor, si sería posible y conveniente la medición con PAC.

# **CAPITULO 3**

## **Conclusiones**

### 3. Conclusiones

Existen herramientas y métodos sencillos que podemos emplear para identificar pérdidas, incrementar las actividades que generan valor, identificar los ciclos, y disminuir la variabilidad de los procesos, entre otros índices de la filosofía Lean Construction, pero no se tiene la cultura, y no nos damos el tiempo de hacerlo, sin saber que podemos incrementar nuestras utilidades, la de los clientes, y disminuir tiempos de entrega. Lamentablemente tenemos la cultura de “planear” y que las cosas se den por sí solas, y sólo esperando resultados. Sin embargo, éste ejercicio realizado en este trabajo, puede ayudar a demostrar lo sencillo que es, y sobre todo, que una vez que lo descubres, comienzas a generar nuevas ideas sobre como optimizar los procesos, así como a buscar ideas creativas e innovaciones que puedes aplicar con este fin.

Este proyecto fue bastante enriquecedor, pues a pesar de que en nuestras obras vivimos en día con día los avances de las diversas actividades, y se pueden percibir trabajos No contributorios, y contributorios, el realizar la medición y registrar los tiempos reales, nos muestran que es mucho mayor el tiempo que toman dichas actividades, a lo que percibimos. Considero también que el observar desde afuera las actividades, los procesos y la obra en sí, de una forma analítica y crítica, nos permite identificar muchas áreas de oportunidad dentro de la obra, y buscar la forma de aplicarlo en nuestros proyectos da con día, para mejorar los procesos, la productividad, el control, y la optimización de recursos, minimizar los desperdicios, y mejorar la calidad. De esta forma nuestros proyectos de construcción pueden generar una mayor utilidad, mejorar el servicio, y la calidad de nuestro producto final, para lograr con ello a su vez la entera satisfacción del cliente.

Finalmente como conclusiones del trabajo realizado, se proponen algunas ideas adicionales a los mencionados en los puntos **2.3.1.6 y 2.3.2.6** para mejorar los procesos de construcción de pisos industriales:

- 1) Buscar la participación de todos los involucrados, de forma que tenga relación con la planificación y la construcción, en un proceso de trabajo en equipo.
- 2) Conociendo que el suministro de concreto es de vital importancia, reunirse una o varias veces previamente con los involucrados, para establecer en conjunto los criterios, conocer los requerimientos del colador, y el cliente en cuestiones de tiempo, calidad del producto fresco, y calidad del producto terminado (piso pulido)
- 3) Implementar la medición de los procesos, productividad, identificación de causas de no cumplimiento, encuestas de detenciones, encuestas de calidad, encuestas de pérdidas, etc. Para realizar los ajustes necesarios, reasignación del trabajo, incrementar el trabajo productivo, minimizar las pérdidas, y los trabajos no contributivos, y ajustando los trabajos contributivos.
- 4) Tener la retroalimentación pos proyecto de las partes involucradas.
- 5) Aunque actualmente casi todos los trabajadores saben realizar la mayoría de las actividades de la construcción de pisos, capacitarlos de forma adecuada para realizar multitareas con la calidad y el nivel de conocimientos requeridos.
- 6) Diseñar un sistema de incentivos que ayuden a promover la utilización de herramientas de mejoramiento de los procesos de la empresa.
- 7) Buscar el compromiso de dirección general y de las gerencias, subcontratistas y proveedores para la aplicación de Lean Construction.
- 8) Desarrollar descripción detallada de procesos, identificando claramente los recursos necesarios para la realización de cada actividad, a lo largo de todo el proceso de construcción de pisos industriales.
- 9) Identificar y ubicar los materiales en obra, que se utilizarán día con día, mediante un checklist, previendo que los materiales solicitados y entregados son suficientes, como se hace actualmente con las juntas armadas, que se identifican claramente. (Fig. 3)
- 10) Ubicar en algún lugar en la obra un croquis con el plano y el programa en grande para que los trabajadores conozcan los detalles con anticipación. Indicar los resultados de medición de planicidad, volúmenes, y tiempos para que la gente se entere de su productividad, y sus resultados.
- 11) Medir y analizar los resultados de las diferentes obras para observar los avances y mejorías en los procesos, buscando la mejora continua.

- 12) Dar seguimiento a los proyectos con la retroalimentación del cliente, y una evaluación del nivel de satisfacción del mismo, buscando la mejora continua en los siguientes proyectos.
- 13) Dar continuidad a éste trabajo, para buscar las condiciones para la implementación del Último planificador, o Last Planner.

# **CAPITULO 4**

## **Referencias**

#### 4. Referencias

1. Material Curso Update taller Lean Construction Mayo 2012
2. Alarcón Luis Fernando. "Mejorando la productividad de Proyectos con Planificaciones más confiables". Investigación Revista BIT, Junio 2002, Chile.
3. Alarcón Luis Fernando, "Herramientas para identificar y reducir pérdidas en proyectos de Construcción", Revista Ingeniería de Construcción. Universidad Católica de Chile, 9 p.
4. Alarcón Luis Fernando, "Organizándose para implementar prácticas Lean en empresas constructoras", Revista Ingeniería de Construcción. Universidad Católica de Chile, 9 p.
5. Alarcón Luis Fernando & Seguel Loreto, "Desarrollando estrategias que incentiven la implementación de Lean Construction" 10° Congreso de Lean Construction, Gramado Brasil, 2002.
6. Alarcón, Diethelmand & Rojo "Collaborative implementation of Lean Planning Systems in Chilean Construction Companies" 10° Congreso de Lean Construction, Gramado Brasil, 2002.
7. Ballard Glenn, "Lookahead Planning: The missing link in production control", Informe técnico N°97-3, University of California, Berkeley.
8. Ballard, G. and Howell, G. (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.
9. Ballard Glenn. "The Last Planner." Northern California Construction Institute, Monterey, California. Abril 22-24, 1994.
10. Ballard Glenn, "Lean Project Delivery System". LCI white paper-8. 2000, 7 p.
11. Coriat, B. "Pensar al Revés. Trabajo y organización en la empresa japonesa. Siglo XXI", 1992

12. Cruz Juan Carlos (1998). *Diagnóstico, Evaluación y Mejoramiento del Proceso de Planificación de Proyectos*, Revista de Ingeniería de Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ingeniería y Gestión de la Construcción, Volumen 16, N° 2, Julio-Diciembre 1997, Páginas 36-50.
13. Howell, Gregory A. "What is Lean Construction". In: Conference of the international Group of Lean Construction, 1999, Berkeley University of California, 10 p.
14. Howell and Ballard, "Implementing Lean Construction: Reducing Inflow Variation". Presentación 2° Congreso del LCI. Universidad Católica de Chile, 1994, 7 p.
15. Koskela, L. (1992) "Application of the New Production Philosophy to Construction". *Technical Report No. 72*, Stanford, CIFE, Stanford University.
16. Melles, B. and Wamelink, J. (1993). *Production control in construction*. Delft University Press, The Netherlands.
17. Ohno, Taiichi. 1988. *Toyota production system*. Productivity Press, Cambridge, MA. 143 p.
18. Revista BIT, "Cambio de Gestión en la Industria de la Construcción", Reportaje especial, Junio 2002.
19. Shingo, Shigeo. 1984. *Study of 'TOYOTA' Production System*. Japan Management Association, Tokyo. 359 p.
20. Serpell, A & Alarcón, L.F (2000). *Planificación y Control de Proyectos*, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile, 264 páginas.
21. Womack, J. P., Jones, D.T., Roos, D. (1990) "La máquina que cambió el mundo". Mac Millan.
22. <http://leanconstruction.es/lean-construction/>
23. <http://www.leanconstruction.org/about.htm>
24. <http://www.deacero.com/Content/Products/Files/MallaIngenieria2.pdf>
25. <http://www.maxusacorp.com/>
26. <http://www.kodiklip.com/>
27. [http://www.revistacertificacion.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1187:lean-construction-identificacion-de-perdidas-en-la-construccion&catid=108:mejora-continua&Itemid=392](http://www.revistacertificacion.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=1187:lean-construction-identificacion-de-perdidas-en-la-construccion&catid=108:mejora-continua&Itemid=392)
28. Revista Ingeniería de Construcción, N°9, Julio-Diciembre 1990 Alfredo Serpell
29. <http://www.monografias.com/trabajos25/construccion/construccion.shtml>

30. Material Maestría de Administración de la Construcción “Control de Recursos” impartido por PhD. Alfredo Serpell, Agosto 2011
31. Revista de Obras Públicas/Febrero 2009/Nº 3.496 – “Un nuevo enfoque en la gestión:  
La construcción sin pérdidas” (Alarcón Cárdenas/Pellicer Armiñana)
32. [http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642007000100015&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642007000100015&script=sci_arttext)

# **CAPITULO 5**

## **Anexos**

## 5. Anexos

### A) Fotos



Foto 1 .Extendido con regla láser (1)



Foto 2 .Extendido con regla láser (2)



Foto 3. Extendido con regla láser (3)



Foto 4. Extendido con regla láser (4)



Foto 5. Colado de piso sin juntas



Foto 6. Flotado de losa con platos



Foto 7. Pulido de losa



Foto 8. Medición de planicidad



Foto 9. Pisos sin juntas terminado (1)  
B) Formatos



Foto 10. Pisos sin juntas terminado (2)





Fig. 4. – Ejemplo de resumen de la revisión de diseño que se le entrega al cliente, previo a la construcción de los pisos

