



## APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA LÍNEA DE BALANCE A LA PLANIFICACIÓN MAESTRA

Pablo Orihuela<sup>1</sup> y Delfín Estebes<sup>2</sup>

### RESUMEN

En el Sistema Last Planner™ (LPS), la Programación Maestra se debe limitar a la estimación de tiempos de fases y a la fijación de hitos importantes del proyecto, sin embargo, muchas empresas constructoras que comienzan a adoptar la filosofía Lean y que inician la implementación del LPS, realizan sus programaciones maestras con una abundante cantidad de tareas y con mucho detalle, usando generalmente la técnica CPM. Frecuentemente, los propios contratistas aceptan que, al poco tiempo de iniciada la obra, este documento maestro inicial queda rápidamente desactualizado, luego de lo cual se ven en la necesidad de incurrir en re-procesos para sus constantes actualizaciones.

Este artículo presenta al método de la Línea de Balance como una alternativa eficiente para la elaboración de la Programación Maestra, cuya aplicación no está restringida a los proyectos altamente repetitivos sino que se puede extender a la mayoría de ellos. Asimismo, se exponen los conceptos básicos para su elaboración, se describen sus ventajas y se demuestra que su utilización concuerda con los principios de la filosofía Lean. Finalmente se presenta un caso de aplicación.

### ABSTRACT

In the Last Planner System™ (LPS), Master Scheduling shall be limited to estimating the duration of each phase and marking important project milestones. However, many construction companies that have started adopting Lean philosophy and implementing LPS include a great amount of tasks and details in their master scheduling, generally using the CPM technique. Contractors themselves often agree that shortly after initiating the work, this initial master document becomes quickly outdated. Therefore, they have to implement new processes for its constant updates.

This article sets forth the Line of Balance method as an effective alternative when developing Master Scheduling; the application of which is not restricted to highly repetitive projects but can also be applied to most of them. Moreover, it presents basic concepts for Line of Balance preparation, describing its advantages and demonstrating that its use agrees with Lean philosophy principles. Finally, a case describing the application of this method is also introduced.

**KEYWORDS:** LINEA DE BALANCE, LAST PLANNER SYSTEM, MASTER SCHEDULING

---

<sup>1</sup> Profesor Principal, Pontificia Universidad Católica del Perú; G.G., Motiva S.A. [porihuela@motiva.com.pe](mailto:porihuela@motiva.com.pe)

<sup>2</sup> Ingeniero de Producción, Motiva S.A. [destebes@motiva.com.pe](mailto:destebes@motiva.com.pe)

## **EL SISTEMA LAST PLANNER Y LA PROGRAMACIÓN MAESTRA**

Un punto de partida del Sistema Last Planner es que toda planificación es un pronóstico y todo pronóstico tiene errores, además cuanto más largo sea el periodo de este pronóstico y cuanto más detallado sea, mayor será el error. Por esta razón, los principios del Last Planner recomiendan: Planificar con más detalle a medida que se aproxime el trabajo a ejecutar; elaborar planes, identificar y eliminar las restricciones de las tareas previstas con el equipo que va a hacer el trabajo; hacer promesas confiables; y aprender de los errores. (Ballard, Hammond and Nickerson, 2009).

Tradicionalmente el Master Plan de las obras de construcción es realizado con la ayuda de diferentes programas de computación, los cuales generalmente usan el Método de la Ruta Crítica - CPM, existiendo en el mercado variados softwares especializados, tales como el Primavera Project Planner y el Microsoft Project.

Todas estas técnicas suponen que los recursos estarán siempre disponibles y que no habrá inconvenientes ni restricciones durante todo el desarrollo del proyecto, por lo que el típico Master Plan describe con lujo de detalle la secuencia y los tiempos que tomarán en hacerse cada una de las actividades de una obra de construcción, desde el primero hasta el último día de su ejecución. Bajo este enfoque el planeamiento y control de la producción se centra en la comparación del cumplimiento de lo avanzado contra lo que se pronostica en este Master Plan.

Sin embargo, la práctica demuestra que la disponibilidad de los recursos debe ser chequeada antes de iniciar cada una de las asignaciones. Los recursos relevantes, tales como, los planos de detalle, los materiales, los equipos, las herramientas, el espacio, las condiciones externas, etc., rara vez o nunca son explícitamente descritos en los cronogramas de un CPM. Además, la mayoría de gerentes de proyectos y contratistas generales, usan el Master Plan detallado no sólo para planificar y controlar la producción, sino también para administrar sus contratos (Choo, Tommelein, Ballard and Zabelle, 1999).

El objetivo principal del Master Plan debe ser fijar los Hitos del Proyecto. Eso no implica una extensa exploración de las contingencias y alternativas, porque no es apropiado antes de comprometerse a firmar un contrato. Por otro lado, para lograr este objetivo tampoco se debería prohibir la producción de un programa maestro detallado en el inicio de un proyecto. ¿De qué otra manera podríamos explorar los riesgos y las estrategias alternativas, y por lo tanto tomar una decisión prudente sin seguir hitos del cronograma? (Ballard, Hammond and Nickerson, 2009).

Los hitos del Master Plan deben ser definidos por los principales protagonistas del proyecto, tales como, el dueño, el gerente de proyecto, el contratista general, etc., apoyados por un programador de producción integrado. Un Programador de Producción Integrado (IPS) se refiere a la persona o grupo que estima los plazos de construcción con información integrada, para lograr un proceso de producción fiable, una mayor productividad y una mejor calidad del producto.

El IPS se especializa en la planificación de la construcción y la programación; él puede actuar en nombre del jefe de proyecto, de los contratistas, de los subcontratistas, de los proveedores, etc. La programación de actividades con información integrada, es lo que hace al IPS distinto a los programadores tradicionales, además el IPS tiene una visión de producción de la obra y cree que el flujo de la construcción puede ser manejado como un proceso de producción al que son aplicables los principios de Lean Construction (Chua, Jun, and Hwee, 1999).

Un hito es un ítem en el Master Plan que define el término o inicio de una fase o un evento contractualmente requerido (Lean Project Delivery Glossary). Por lo tanto para hacer un cronograma de hitos, luego de hacer una programación, hay que identificar los eventos principales que creemos deben marcar los logros importantes durante el desarrollo de nuestro proyecto, o los que por razones de contrato estamos obligados a colocar.

Una opción muy interesante propuesta por Seppänen, Ballard and Pesonen (2010), es el Sistema de Gestión Basada en la Localización – LBMS, el cual integra y personaliza el método de la Líneas de Balance para proyectos de construcción, usándolo no sólo para la etapa de planificación, sino también

extendiéndolo para la etapa de control durante el desarrollo de la obra, para el progreso y para el pronóstico de comportamiento futuro.

Seppanen 2009, en su tesis doctoral sobre la investigación empírica acerca de la fiabilidad de las programaciones comenta que hay tantos cambios durante la implementación de una programación detallada, que el uso de las fechas de inicio previstas en la línea de base es perjudicial, ya que conduce a un control Push para nivelar el inicio de las tareas de acuerdo con esta línea de base, sin tener en cuenta el estado de la producción. Sin embargo, un desglose de la localización en grandes niveles (fases, pisos) por lo general se mantiene constante a lo largo de los casos de estudio y las tasas globales de producción efectiva de las tareas se mantiene (para los tres proyectos estudiados en la tesis), dentro del 5 al 20% de lo planificado.

## **EL MÉTODO DE LA LÍNEA DE BALANCE**

La Línea de Balance es un método de programación gráfica que considera a la localización explícitamente como una dimensión. Esto facilita la planificación de recursos, lo cual a su vez permite ahorros en el costo y un menor riesgo en la programación, así como la permanencia en el sitio de las cuadrillas de trabajo (Soini, Leskela, Seppanen, 2004).

El método de la Línea de Balance muestra los trabajos que se van a desarrollar en una obra de construcción con un conjunto de líneas, cada línea es una actividad, y al igual que el diagrama Gantt, en el eje horizontal se muestra el tiempo, pero en el eje vertical, se muestra la localización donde se desarrollarán estos trabajos. De esta manera, las pendientes de las líneas nos informan sobre la velocidad de trabajo de cada actividad, si una línea corresponde a una actividad planificada, ella nos indicará la velocidad a la cual debemos trabajar; una vez iniciada la obra, si su pendiente es menor a la planificada nos alertará indicándonos que no terminaremos de acuerdo a lo planificado porque podremos generar un retraso en cadena aguas abajo. Si por el contrario, la pendiente fuese mayor, el gráfico nos alertará indicándonos que nos quedaríamos en algún momento sin “cancha de trabajo” y que además estaríamos incurriendo en distraer recursos destinados a avanzar trabajos que luego van a estar a la espera de espacio, convirtiéndose en inventarios que generan pérdidas.

Es así que una gráfica de Línea de Balance no muestra tanto el detalle interno del trabajo de una actividad, sino más bien muestra su correlación y desempeño respecto a las otras actividades del proyecto, la gráfica entre otras cosas muestra de manera muy visual el ritmo global de la obra, por lo que cumple con el principio de la Teoría de Restricciones de preocuparse primero de la productividad global antes que la productividad local, y también cumple con los objetivos principales de una Programación Maestra de hacer una programación orientada a fases y a hitos con los cuales debe comprometerse la empresa constructora antes de firmar el respectivo contrato.

Lo ideal de una programación por Línea de Balance de un proyecto de construcción, es que todo el conjunto de líneas tengan las mismas pendientes, es decir sean paralelas; si esto fuera así, la obra tendría un ritmo constante, lo que facilitaría de gran manera que el Lookahead sea más predecible y que el análisis de restricciones libere una programación semanal más estable, lo cual se reflejaría en un buen nivel de Porcentajes de Planificación Cumplida a lo largo de la obra.

Por lo tanto, pensamos que se debería encontrar una muy buena correlación entre el PPC promedio de una obra y la eficiencia de la programación rítmica, la cual a su vez depende en gran medida de la habilidad del programador en realizar la LBS de un determinado proyecto. Una forma de obtener unos indicadores de la LBS sería considerar el Nivel de Fraccionamiento de la LBS que permite el proyecto aunado al Porcentaje de Homogeneidad de los Volúmenes de Trabajo entre las unidades fraccionadas al cual podríamos llamar PHVT.

## **APLICABILIDAD DEL MÉTODO DE LA LÍNEA DE BALANCE**

En la literatura internacional el enfoque tradicional siempre ha considerado que el método de la Línea de Balance sólo es aplicable a proyectos de construcción con una rutina altamente repetitiva, sin embargo en todo proyecto, independientemente de su complejidad, las actividades principales son siempre las mismas residenciales (Soini, Leskela, Seppanen, 2004).

En Finlandia, la línea de balance ha sido la herramienta principal en la programación de las grandes empresas constructoras desde 1980. Los clientes finlandeses exigen el uso de la programación de línea de balance tanto en proyectos especiales complejos como en la construcción de edificios residenciales (Soini, Leskela, Seppanen, 2004).

Esto respalda la postura de que siempre es posible encontrar un nivel del LBS que sea considerablemente rítmico con el cual podamos programar la obra.

## **LA ESTRUCTURA FRACCIONADA DE LOCALIZACIÓN (LBS)**

La experiencia nos dice que el grado de repetitividad de una obra de construcción, dependerá en gran medida de la eficiencia con la que logremos hacer la estructura fraccionada de localización (LBS), la cual a su vez dependerá de lo modular y estandarizado que sea el diseño (arquitectura, estructuras e instalaciones), sin embargo como afirman los autores arriba mencionados, las actividades globales y principales de todo proyecto - sin entrar al detalle interno de cada una - son casi siempre repetitivas; por ejemplo, los pisos típicos de un edificio son actividades repetitivas, un nivel más detallado puede ser fraccionar la planta de estos pisos en varios sectores con iguales volúmenes de trabajo.

El objetivo de una buena LBS debería ser encontrar la mejor distribución de estos sectores de trabajo en aras a conseguir la máxima economía en el trabajo, al mismo tiempo que la mayor seguridad y satisfacción de los trabajadores.

El grado de facilidad que ofrezca una determinada distribución arquitectónica y estructural para hacer una buena LBS, se volvería entonces un factor importante a tomar en cuenta durante la evaluación de la constructabilidad del diseño de un proyecto de construcción.

Por otro lado, una vez que los planos de un proyecto ya están definidos, hay que tener la habilidad y destreza para lograr la mejor LBS. Creemos que para ello nos podemos apoyar en lo que la ingeniería industrial denomina distribución de planta, la cual puede ser de los siguientes tipos: Distribución por proceso (por función), distribución por producto (en línea) y distribución por posición fija. Las obras de construcción, por naturaleza están obligadas a aplicar la distribución por posición fija porque todos los materiales, obreros, maquinaria y herramientas tienen que trasladarse hacia cada uno de los sectores o lotes de trabajo que son inamovibles. Entonces para una realizar una LBS son aplicables los 6 principios básicos para una buena distribución de planta (Trueba Jainaga, J.I.):

- Principio de la satisfacción y la seguridad: A igualdad de condiciones, será siempre más efectiva la distribución que haga el trabajo más satisfactorio y seguro para los trabajadores.
- Principio de la integración de conjunto: La mejor distribución es la que integra a los hombres, materiales, maquinaria, y cualquier otro factor, de modo que resulte el mejor compromiso entre todas estas partes.
- Principio de la mínima distancia recorrida: A igualdad de condiciones, es siempre mejor la distribución que permite que la distancia a recorrer por el material sea la menor posible.
- Principio de la circulación o flujo de materiales: En igualdad de condiciones, es mejor aquella distribución que ordene las áreas de trabajo de modo que cada operación o proceso esté en el mismo orden o secuencia en que se transformen, tratan o montan los materiales.
- Principio del espacio cúbico: La economía se obtiene utilizando de un modo efectivo todo el espacio disponible, tanto en horizontal como en vertical.

- Principio de la flexibilidad: A igualdad de condiciones será siempre más efectiva la distribución que pueda ser ajustada o reordenada con menos costo o inconvenientes.

## **LAS ACTIVIDADES PRINCIPALES Y LOS HITOS**

Una vez definida la estructura fraccionada de la localización y el nivel al que queremos llegar, debemos identificar las actividades principales que vamos a graficar. Creemos que para ello nos podemos apoyar en algunos de los principios de la Estructura de Desglose del Trabajo de una obra – WBS, conceptos que son propuestos por la guía del PMI - PMBOK.

Estos conceptos nos dicen que un desglose del trabajo puede ser diseñado para definir el nivel de reporte y documentación que se necesita suministrar al cliente de acuerdo al contrato (CWBS), también puede ser diseñado para definir los principales entregables del proyecto (WBS) o para definir los elementos de trabajo que se asignan a los grupos de trabajo (OBS). Bajo otro enfoque, también puede ser estructurado orientado a los productos entregables, orientado a la programación (por fases, actividades o tareas) y orientado a los recursos (disciplinas o unidades administrativas).

La programación maestra es un documento contractual entre el propietario del proyecto y el contratista general de la obra, y también es un documento interno que nos servirá de referencia para saber cómo vamos respecto al plazo, por lo tanto, las actividades que allí figuran deben tener un nivel de desglose primario para que su importancia económica sea de interés para el propietario del proyecto, pero también pueden tener un nivel inferior si el tiempo o la función de la actividad es importante para el desarrollo operativo de la obra. El inicio o término de estas actividades deben marcar los hitos dentro de la ejecución del proyecto. Generalmente estas actividades pertenecen a trabajos que tienen especialidades laborales similares.

Por ejemplo, una actividad de primer nivel en un proyecto de edificación podría ser el pórtico estructural de concreto armado; un desglose de segundo nivel podría ser dividir este pórtico en elementos verticales y elementos horizontales; un desglose de tercer nivel podría ser dividir cada uno de estos elementos en las actividades de acero, instalaciones, encofrado y concreto. En este caso, la experiencia de campo nos dice que los tiempos requeridos para ejecutar las actividades de tercer nivel son muy cortos, por ejemplo la colocación de acero y la instalación de tuberías sanitarias y eléctricas generalmente se hacen en un solo día, igualmente el encofrado y el vaciado de concreto de los elementos verticales se inician y terminan ambos el mismo día, por lo que mostrarlos en la programación maestra sería usar un nivel de detalle innecesario y además muy sensible a cambios, en este caso un desglose de primer nivel podría ser suficiente.

Otra actividad de primer nivel, podría ser por ejemplo el revestimiento con mortero de cemento; un desglose de segundo nivel podría ser, dividir este revestimiento para elementos horizontales y para elementos verticales; un tercer nivel podría ser, dividir cada uno de ellos en las actividades de colocación de puntos de control y de revestimiento propiamente dicho. En este caso usar un tercer nivel sería muy detallado para una programación maestra, pero si sería recomendable usar un segundo nivel, porque estos son muy incidentes económicamente, porque se trabajan en diferentes tiempos y porque marcan hitos diferentes.

Una vez escogidas las actividades y sus respectivos niveles de desglose, podemos fijar los hitos más relevantes del proyecto; para ello es importante remarcar que un hito es una tarea de duración cero, pero que simboliza el haber conseguido un logro, una meta establecida en un determinado tiempo, un momento importante en el proyecto, además su estado puede tener sólo dos condiciones, cumplido o no cumplido, su uso es muy importante y útil para un control rápido del proyecto y además es lo que generalmente primero ven y controlan los propietarios del proyecto.

## **EL PLAZO, EL TIEMPO UNITARIO Y EL RITMO**

El plazo del proyecto puede ser determinado contractualmente, es decir por una exigencia impuesta por el propietario; también puede ser determinado luego de calcular las cantidades de trabajo y la respectiva asignación de recursos, lo cual debe considerar el tiempo óptimo con el cual se obtiene el menor costo; y también puede ser estimado por ratios, es decir usando una base de datos histórica de proyectos de similares características.

El tiempo unitario (tiempo en ejecutar la unidad que se repite), puede ser calculado usando una malla CPM, pero si dentro de la unidad que se repite se logra fraccionar una estructura de localización con mayor nivel de desglose y con volúmenes de trabajo satisfactoriamente homogéneos, este tiempo se puede calcular también por programación rítmica y luego se puede aplicar la línea de balance a un nivel de desglose más detallado. Botero y Acevedo (2011), presentan un caso de estudio donde se realizan programaciones diarias con línea de balance, en el eje vertical muestran las zonas de trabajo, las actividades llegan a tener un desglose del trabajo de 3er o 4to nivel y en el eje horizontal llegan a mostrar el tiempo a un nivel horario dentro de la jornada laboral.

El ritmo del proyecto, está dado por la pendiente del conjunto de líneas de balance, la pendiente depende de la tangente del ángulo que estas líneas forman con el eje horizontal y se calcula dividiendo el número total de unidades a considerar menos una, entre el tiempo total del proyecto menos el tiempo que demora en ejecutarse la unidad que se repite, cuanto mayor sea la pendiente de las líneas de balance, más acelerado será el ritmo del proyecto, mayor será la velocidad de construcción y menor será su plazo de ejecución.

De esta manera el plazo total de ejecución de un proyecto programado con el método de la línea de balance, dependerá del tiempo en que se demora ejecutar la unidad que se repite y de la aceleración que se le imprima al ritmo de ejecución de estas unidades.

## **EL MÉTODO DE LA LÍNEA DE BALANCE Y LA FILOSOFÍA LEAN**

Hemos visto que de acuerdo a los principios del Sistema Last Planner, el objetivo principal de una programación maestra es mostrar los tiempos y las correlaciones de los trabajos que van a ser realizados durante todo el proyecto, identificando los hitos principales, para que luego de acordado el plazo contractual e iniciada la obra, los trabajos se vayan planificando con más detalle y se vayan consiguiendo los compromisos conforme estos se vayan acercando, esto se va logrando a través del Phase Scheduling, el Lookahead y la Programación semanal.

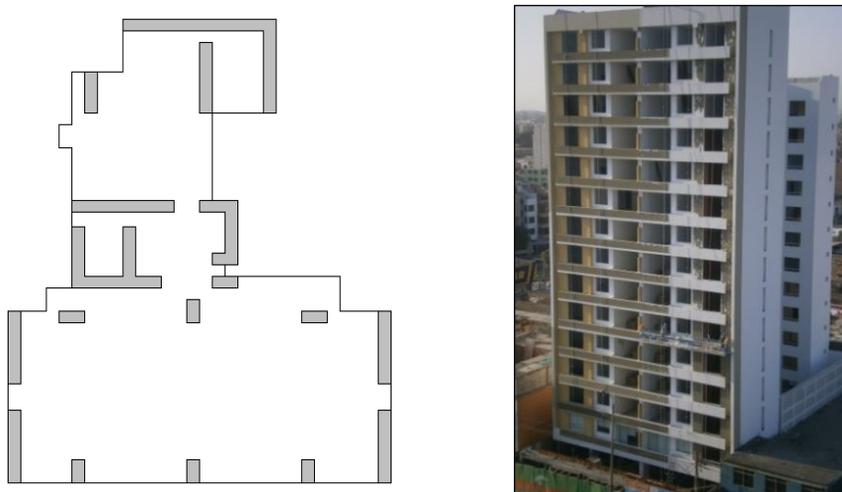
Es así que bajo un enfoque Lean, los constructores debemos cambiar la arraigada costumbre de hacer una programación maestra al detalle, porque estaríamos incurriendo constantemente en re-procesos, viéndonos forzados por una razón contractual a usar la técnica Push para tratar de alinearnos a un cronograma que no ha considerado las restricciones que frecuentemente interrumpen los flujos en los proyectos de construcción.

Es en este sentido que la aplicación del método de la Línea de Balance, creada en la década de los 40's durante la segunda guerra mundial, pero hasta la fecha muy poco usada en los proyectos de construcción, (especialmente en los de edificación), tiene muchas bondades que cumplen con la filosofía Lean, porque permite elaborar una planificación global sin llegar a detalles extremos, porque su representación da más información que los diagramas de barra, y porque es más amigable y facilita la comunicación con los diferentes involucrados del proyecto. Igualmente siendo la programación maestra parte de los documentos contractuales, se logra una mejor interacción entre el contratista general y el propietario, quien generalmente no requiere más detalle operativo que el mostrado por este método.

## CASO DE APLICACIÓN

Se presenta un caso sencillo de un proyecto donde hemos aplicado el método de la Línea de Balance en la elaboración de la programación maestra, se trata de un edificio multifamiliar de 15 pisos con 02 sótanos, los 13 primeros pisos tienen una distribución típica de 3 departamentos por planta y los dos últimos pisos tienen un recorte a dos departamentos por planta, el área techada del piso típico es de 318 m<sup>2</sup> y el área techada total es de 5,600 m<sup>2</sup>. El sistema estructural corresponde al de una edificación de concreto armado de tipo dual (pórticos y muros estructurales), para la tabiquería se ha usado albañilería de ladrillo con columnas de confinamiento y los sótanos se han construido usando el sistema de muros anclados.

La figura 01 muestra la estructura del piso típico y una vista panorámica del edificio a la fecha de presentación de este artículo.



**Figura 1. Piso típico y vista del edificio en etapa de acabados**

## ESTRUCTURA FRACCIONADA DE LA LOCALIZACIÓN

La estructura fraccionada de la localización (LBS) que se presenta en el eje vertical de la gráfica de programación (ver Figura 2), solo llega a un primer nivel de desglose, esto se debió a que si bien el diseño contempla un piso típico en casi toda la altura, las características arquitectónicas y estructurales al interior de ellos no nos permitieron realizar un mayor nivel de fraccionamiento. Las diferentes alternativas que se ensayaron con diferentes posibilidades de frentes de trabajo siempre arrojaron volúmenes de trabajo muy diferentes.

## ACTIVIDADES PRINCIPALES

Las actividades mostradas en la programación maestra (ver Figura 2), fueron seleccionadas teniendo en cuenta que representan puntos de control importantes dentro del desarrollo de la obra, con ellas se puede evaluar el estado de la performance global del avance y se pueden hacer proyecciones acerca del plazo de ejecución del proyecto.

La actividad “Muros Anclados”, comprende la excavación de los sótanos y la construcción de los muros de contención con sus respectivos anclajes, la actividad “Pórtico” comprende las cimentaciones, las placas, las columnas, las vigas, las losas y las escaleras. Esta es la actividad más importante y es la que básicamente determina el ritmo de ejecución de obra.



## PROGRAMACIÓN VS. AVANCE REAL

La Figura 2 muestra en líneas discontinuas lo programado y en líneas continuas lo realmente avanzado, de esta manera nos ha sido muy fácil monitorear de una forma muy visual los plazos de cada actividad. En los casos en que las pendientes se han ido desviando de su ritmo previsto se han tomado las respectivas acciones para no generar un retardo en cadena que afectaría directamente al plazo contractual de todo el proyecto. Las pendientes de la línea de balance se pueden corregir de dos formas: Ingresando mayores recursos en la unidad de producción o generando mejoras de procesos para incrementar los rendimientos en la mano de obra, esto último se logra mediante la aplicación de los First Run Studies los cuales nos permiten aplicar herramientas de análisis a las operaciones, pasos, y movimientos.

Como se puede observar en la Figura 2, la línea de actividad del “Pórtico” inició sus entregas dentro de lo programado, pero luego de unas semanas comenzó a desfasarse debido a unos incumplimientos del proveedor de concreto premezclado, sin embargo gracias a los correctivos aplicados a tiempo, se pudo terminar esta actividad dentro de la fecha programada. De igual manera las demás líneas de actividad han estado manteniendo las pendientes programadas. Actualmente el proyecto sigue su proceso de ejecución en la etapa de acabados.

En el desarrollo de un proyecto hay dos parámetros muy importantes que hablan de la eficiencia de la planeación y desempeño del mismo, el cumplimiento de los plazos de entrega y de los costos presupuestados. Es importante que ambos se cumplan, y mejor aún sin tanto el tiempo como los costos se recortan sin afectar la calidad del producto (Botero 2011).

## CONCLUSIONES

El método de la Línea de Balance considera la localización explícitamente como una dimensión y no muestra el detalle interno de una actividad, sino más bien su correlación y desempeño respecto de las otras actividades del proyecto, esta característica de predominancia global por encima de la local la hace muy versátil para los objetivos que debe cumplir una Programación Maestra de acuerdo a los principios del Sistema Last Planner.

Para elaborar una buena Estructura Fraccionada de Localización (LBS), podemos aplicar los 6 principios básicos de una buena distribución de planta, los cuales son muy conocidos en el ámbito de la ingeniería industrial. De igual manera, para seleccionar las actividades principales, podemos apoyarnos en los diferentes conceptos que nos brinda la técnica de la Estructura de Desglose del Trabajo (WBS).

Para tener mejores correlaciones del método de la Línea de Balance con el Sistema Last Planner se debería tratar de correlacionar el PPC con algunos Índices de Performance Rítmica, uno de estos por ejemplo, podría ser el Porcentaje de Homogeneidad de Volúmenes de Trabajo (PHVT) que se logra luego de seleccionar una LBS.

## BIBLIOGRAFÍA

BALLARD, G., HAMMOND, J. and NICKERSON, R. (2009). “Production Control Principles”. Proceedings for the 17<sup>th</sup> Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 17, 15-17 July, Taipei, Taiwan, pp. 489-500.

BOTERO, F., ACEVEDO, H. (2011). “**Simulación de operaciones y Línea de Balance: Herramientas integradas para la toma de decisiones**”, Ingeniería y Ciencia, ISSN 1794–9165 Volumen 7, número 13, enero-junio de 2011, páginas 29–45

CHOO, TOMMELEIN, BALLARD and ZABELLE, (1999). “**Workplan: Constraint-Based Database For Work Package Scheduling**”. ASCE, Journal of Construction, Engineering, and Management, 125 (5) 151-160, May/June Issue.

CHUA, JUN, and HWEE (1999). **“Integrated Production Scheduler for Construction Look-ahead Planning”**, Proceedings IGLC-7, 26-28 July 1999, University 290 of California, Berkeley, CA, USA.

LCI, **Lean Project Delivery Glossary** (available at: [www.leanconstruction.org/glossary.htm](http://www.leanconstruction.org/glossary.htm))

LORIA, J. **“Programación de obras con la técnica de la Línea de Balance”**, Documento presentado por el Dr. José Humberto Loría Arcila para ingresar a la Academia de Ingeniería, Junio 18 de 2010. Mérida, Yucatán, México

PMI, (2008). **A guide to the Project Management Body of Knowledge**.

SEPPANEN, O. (2009). **“Empirical Research on the success of production control in building construction projects”**. Ph.D. Diss. Helsinki University of Technology, Finland, 187 pp. (available at <http://lib.tkk.f/Diss/>).

SEPPANEN, O., BALLARD, G. and PESONEN, S. (2010). **“The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System”**. Lean Construction Journal, pp. 43-54.

SOINI, LESKELA, SEPPANEN (2004). **“Implementation of Line Balance Based Scheduling and Project Control System in a large construction company”**; Proceedings IGLC-12, July 2004, Copenhagen, Denmark.