

**METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE LA
FILOSOFÍA LEAN EN EMPRESAS CONSTRUCTORAS.**

PROYECTO DE GRADO MODALIDAD PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

ALICIA SERRANO LASTRE

JHOJAN DAVID CASTAÑO CAÑAS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BUCARAMANGA
2008**

**METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE LA
FILOSOFÍA LEAN EN EMPRESAS CONSTRUCTORAS.**

ALICIA SERRANO LASTRE

JHOJAN DAVID CASTAÑO CAÑAS

**PROYECTO DE GRADO MODALIDAD PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR AL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL.**

DIRECTOR DE PROYECTO:

ING. Ph.D. RICARDO CRUZ

Profesor Asociado Escuela de Ingeniería Civil – UIS



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**BUCARAMANGA
2008**

*A mis padres con todo el amor del mundo, porque siempre
han vivido en procura de hacer de mí la mejor mujer.*

A mi hermana, porque siempre ha sido mi ejemplo.

*A mis verdaderos amigos, porque aún nos queda
un largo camino que recorrer en la vida.*

*A la persona que ha llenado de miles de cosas bonitas
los últimos años de mi vida, Ihojan.*

Los Quiero.

- Alice-

A mi mamá querida, porque es la mujer más valiente, generosa y luchadora del mundo, su gran amor y sacrificio me da la fortaleza cada día.

A mi familia, por el gran apoyo y cariño constante.

A las personas que siempre han estado a mi lado en las buenas y en las malas.

Muchas gracias y dios los bendiga.

- Ihojan -

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA GESTIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN.	2
1.1.1 Participación de la Construcción en el PIB.....	2
1.1.2 Gestión en la Construcción.....	4
1.2 NUEVO ENFOQUE DE LA PRODUCCIÓN.	6
1.2.1 Nueva filosofía de producción: Origen, desarrollo e ideas principales.....	7
1.2.2 Base Conceptual de la Filosofía de Producción Convencional.	9
1.2.3 Base Conceptual de la Nueva Filosofía de Producción.	11
1.2.4 Principios para el Diseño de Flujo y la Mejora.....	13
1.2.5 Comparación entre el Sistema Tradicional y la Nueva Filosofía de Producción...	20
2.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE PÉRDIDAS.	21
2.2 DESARROLLO DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN BASADO EN IDENTIFICACION Y ELIMINACIÓN DE PÉRDIDAS.	22
2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE PÉRDIDAS.	25
3.1 LAST PLANNER SYSTEM: El Último Planificador.	29
3.1.1 Sistema Tradicional de Planeación.	30
3.1.2 Sistema de planificación LAST PLANNER.....	30
3.2 NIVELES DE PLANIFICACIÓN.	32
3.2.1 Planificación a Largo Plazo.....	33
3.2.2 Planificación Intermedia.	33
3.2.3 Planificación a Corto Plazo (Semanal).....	35
4.1 BENCHMARKING: Desarrollo de un sistema de Indicadores de Evaluación Comparativa en la construcción utilizando un enfoque de aprendizaje.	42
5.1 GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LAS EMPRESAS DE CONSTRUCCIÓN.	49
5.1.1 El Proceso de Crear y Compartir el Conocimiento Tácito.	50

5.1.2	Sistemas Adaptativos.....	50
5.2	PLANEACIÓN ESTRATEGICA FUNCIONAL Y OPERACIONAL COMO MARCO DE REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS DE PÉRDIDAS E IMPLEMENTACIÓN LEAN.....	53
5.3	DIAGNÓSTICO DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE LEAN CONSTRUCTION.....	55
5.4	BALANCE SCORECARD APLICADA A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN..	60
5.5	VISUALIZACIÓN CAD 3D – 4D: HERRAMIENTA DE REALIDAD VIRTUAL PARA PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	65
5.5.1	Herramientas de Visualización.....	69
5.5.2	Limitaciones de la Representación en 2D y el Compromiso de CAD en 3D – 4D como Solución.....	70
6.1	DIAGNÓSTICO DE IMPLEMENTACIÓN. EJEMPLO DE APLICACIÓN, (Brasil).	74
6.2	IMPLEMENTACIÓN DE BALANCE SCORECARD (Venezuela).....	75
6.3	APLICACIÓN DE LAST PLANNER EN UN SISTEMA EN EMPRESAS DE CONSTRUCCIÓN EN MEDELLÍN.....	81
6.3.1	Resultados de la Aplicación del Sistema Last Planner (Medellín – 2003).....	82
6.3.2	Causas de No Cumplimiento de las Actividades Previstas.....	84
6.3.3	Evolución del PAC acumulado en Medellín en 2003.....	85
6.3.4	Reuniones de Planificación y Evaluación del Desempeño.....	86
6.3.5	Análisis de Resultados.....	86
6.4	EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA VISUALIZACIÓN CAD 3D–4D.....	87
6.5	BENCHMARKING: CREACIÓN DE UN SISTEMA DE REFERENCIA EN BOGOTÁ, APLICANDO LA FILOSOFÍA LEAN.....	95
6.5.1	EAFIT-GESCON.....	100

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Crecimiento de PIB en Colombia.....	3
Figura 2. Crecimiento del PIB total y del sector de la Construcción en Colombia.	3
Figura 3. La opinión convencional de un proceso de producción como un proceso de conversión puede ser dividida jerárquicamente en subprocesos.	10
Figura 4. Producción como un flujo de proceso.	12
Figura 5. Mejora del rendimiento en la producción convencional, enfoque de la nueva filosofía de producción.	12
Figura 6. El ciclo de tiempo puede ser comprimido progresivamente mediante la eliminación de las actividades que no agregan valor y la reducción de la variabilidad. (Berliner y Brimson, 1988).....	15
Figura 7. Comparación entre los dos Sistemas de Producción.	20
Figura 8. Iniciación Filosofía Lean Construction.	23
Figura 9. Pérdidas de Productividad.	23
Figura 10. Fases del ciclo de vida del proyecto.	24
Figura 11. Áreas Controlable y No Controlable del Proyecto.....	24
Figura 12. Clasificación de Causas de Pérdidas.	25
Figura 13. Determinación de factores de caracterización de pérdidas en proyectos de acuerdo al análisis de procesos.	26
Figura 14. Formato de muestreo de trabajo.....	27
Figura 15. Formato de Encuesta de Detenciones y Esperas.....	27
Figura 16. Formato de Encuesta de Identificación de Pérdidas.....	28
Figura 17. Sistema Tradicional de Planificación.	30
Figura 18. Sistema de Planificación LAST PLANNER.....	31
Figura 19. Criterios para la asignación de trabajo.....	32
Figura 20. Estructura LAST PLANNER.....	32
Figura 21. Sistema Lookahead Planning.	35
Figura 22. Formato de Planificación Intermedia.	40
Figura 23. Porcentaje de Asignaciones Completadas.	41
Figura 24. Formato para causas de No Cumplimiento.	41
Figura 25. Formato para tabulación de las Causas de No cumplimiento de las actividades planificadas.	42
Figura 26. Metodología del Benchmarking.	43
Figura 27. Indicadores Cuantitativos de Desempeño.....	46
Figura 28. Indicadores Cualitativos de Desempeño.	47
Figura 29. Indicadores de Benchmarking.....	47
Figura 30. Planeación Estratégica.....	54
Figura 31. Formato para Realización de Diagnóstico.....	60
Figura 32. Integración de los Indicadores de la Construcción BSC.	62
Figura 33. Formato Implementación BSC.	65
Figura 34. Desarrollo Tradicional de un Proyecto.	66
Figura 35. Tecnologías de Visualización CAD 3D.....	67
Figura 36. Visualización del Terreno y sus inmediaciones.....	68
Figura 37. Visión a nivel del suelo y el panel principal.....	68
Figura 38. Visualización de excavación de terreno.	68
Figura 39. Software Revit Structure.	69

Figura 40. Software Revit MEP.	70
Figura 41. Limitaciones Visualización 2D y Beneficios Visualización 3D - 4D.	72
Figura 42. Tecnologías de Visualización CAD 4D.....	73
Figura 43. Resultados de Aplicación de Diagnóstico en Obras Civiles (Brasil).	74
Figura 44. Resultados de Diagnóstico en Obras Civiles (Brasil).	75
Figura 45. Visualización de proyecto.	76
Figura 46. Análisis de Confiabilidad	72
Figura 47. Análisis de Rendimientos de Mano de Obra para procesos.....	78
Figura 48. Análisis de incidencia de Costos Directos.....	78
Figura 49. Índices de Desempeño por procesos.....	72
Figura 50. Índices de Desempeño por resultados.....	72
Figura 51. Causas de Perdidas (Medellín – 2003).	81
Figura 52. Características de las empresas constructoras participantes. Last Planner Medellín – 2003.	82
Figura 53. Aplicación Last Planner (Medellín - 2003).	82
Figura 54. Resultados PAC de los proyectos en Medellín en 2003.....	83
Figura 55. PAC Semanal y Acumulativo del proyecto.	83
Figura 56. Causas de No Cumplimiento de actividades (Medellín 2003).	84
Figura 57. Evolución General PPC en Medellín.	85
Figura 58. Visualización de los Elementos Constructivos desde distintos ángulos.	89
Figura 59. Visualización de los Elementos Constructivos y la Escala de Mediciones.	90
Figura 60. Inconveniente de Visualización 2D.	91
Figura 61. Modelos 3D, que muestran las tuberías y la interferencia con la pared.	92
Figura 62. Ubicación de Frentes de Trabajo y Espacios Fijos.....	93
Figura 63. Ubicación de Frentes de Trabajo y Rutas de Transporte.	93
Figura 64. Visualización en Campo y Ubicación de Frente.....	94
Figura 65. Modelo 4D de Proyecto.	94
Figura 66. Obra Terminada - Fiscalía Medellín.	95
Figura 67. Características de los proyectos observados.	96
Figura 68. Desempeño de tiempo de trabajo en estudios anteriores.....	96
Figura 69. Promedio de desempeño de tiempos en Bogotá.	97
Figura 70. Distribución de tiempo trabajado en Bogotá.	97
Figura 71. Distribución de tiempo trabajado en cada empresa de Bogotá.	98
Figura 72. Distribución de tiempos por actividad en Bogotá.	98
Figura 73. Aplicación Móvil.	102
Figura 74. Aplicación WEB.	103

RESUMEN

TÍTULO: *METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN Y DESARROLLO DE LA FILOSOFÍA LEAN EN EMPRESAS CONSTRUCTORAS**.

AUTORES:** SERRANO LASTRE, Alicia.

CASTAÑO CAÑAS, Jhojan David.

PALABRAS CLAVES: Lean Construction, Gestión del conocimiento, Planificación Estratégica, Last Planner, Lookahead Planning, Balance Score Card, Tecnologías CAD, BenchMarking.

DESCRIPCIÓN

Lean construction surge como alternativa para mejorar la competitividad de las empresas en el mercado, por medio del fortalecimiento del sistema de producción y la unificación óptima de las diferentes actividades y procesos. Con base en esta filosofía que tuvo sus inicios hacia los años 50 en las industrias manufactureras y automotrices como Toyota, se añade el máximo valor al producto final, identificando y eliminando las pérdidas en los procesos productivos obteniendo como resultado un mejoramiento continuo de los procesos.

En los últimos años se han venido desarrollando una serie de teorías que conceptualizan los mayores problemas de la industria de la construcción, y que implementan técnicas para mejorar la productividad de las empresas. El principio fundamental de estas teorías es realizar una identificación de las pérdidas por medio de actividades sencillas tales como muestreo de trabajo, identificación demoras y cartas de balance.

Dentro de los avances en el desarrollo de esta nueva filosofía se ha implementado un nuevo modelo conceptual llamado **Last Planner** el cual fue concebido por el profesor Glenn Ballard (2000), y cuya finalidad es aumentar la confiabilidad y rebajar la incertidumbre de la planeación de los proyectos, mejorando sustancialmente el desempeño de las actividades constructivas y por tanto de las empresas.

* Proyecto de Grado - Modalidad proyecto de investigación.

** Facultad de Ingenierías FísicoMecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director de Proyecto, PhD. Ricardo A. Cruz.

ABSTRACT

TITULO: METHODOLOGY FOR IMPLEMENTATION AND DEVELOPMENT OF PHILOSOPHY LEAN IN CONSTRUCTION COMPANIES*.

AUTHORS: SERRANO LASTRE, Alicia.**

CASTAÑO CAÑAS, Jhojan David.

KEY WORDS: Lean Construction, Knowledge Management, Strategic Planning, Last Planner, Lookahead Planning, Balance Score Card, CAD Technologies, BenchMarking.

DESCRIPTION

“**Lean Construction**” appears as an alternative to improve the competitiveness of companies in the construction market. This approach uses the strengthening of production systems and the ideal unification of the different activities and processes involved. Based on this philosophy, that was born in the 50's among the manufacture and car industries, such as “Toyota”, the final product acquires its maximum value by identifying and removing losses on production lines obtaining as a result continuous improving of them.

In the last few years several theories has been developed around the biggest problems in construction industry trying to improve the productivity of the companies. The principle of these theories is to identify losses through simple activities like work survey, recognizing delays and balance charts.

Between all of the advances in the development of this new philosophy, there has been an inclusion of a new conceptual model named “Last Planner”, which was created by Professor Glen Ballard (2000). Its goal is to increase reliability and minimize the uncertainty of project planning, improving the construction processes performance and companies as well.

* Proyecto de Grado - Modalidad proyecto de investigación.

** Facultad de Ingenierías FísicoMecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director de Proyecto, PhD. Ricardo A. Cruz.

INTRODUCCIÓN.

El sector de la construcción siempre ha estado asociado a un mal desempeño. En general la percepción es que la construcción es un sector poco productivo y es también uno de los menos desarrollados y tecnificados en Colombia. Pero sin duda la principal característica de este sector es la gran presión de trabajo que deben soportar todos los trabajadores, incluidos los directivos, lo cual provoca que no siempre se den soluciones apropiadas a los problemas que se presentan, principalmente porque se vive el día a día.

Muchos de los problemas antes mencionados se generan debido a una falta de planificación de proyectos, lo cual se ve reflejado en la poca competitividad de las empresas del país en los mercados globalizados. Dado que las nuevas teorías y conceptos de construcción sin pérdidas son recientes, existen pocas empresas del sector que han implementado estos principios a sus sistemas de gestión de la producción, reflejando excelentes resultados en el desarrollo de sus proyectos.

La filosofía Lean Construction, permite identificar las pérdidas y establecer metodologías de mejora continua de los procesos, aumentando la productividad y competitividad de las organizaciones en el sector, además permite a las empresas aumentar la transparencia y confiabilidad, reduciendo la incertidumbre y la variabilidad de los procesos de construcción.

Por lo anterior, y con el fin de aumentar la productividad en la industria de la construcción, el presente trabajo busca establecer una metodología sencilla de implementación de la Filosofía Lean, exponiendo las bases teóricas necesarias, algunos pasos de fácil aplicación y ejemplos que permitan desarrollar importantes mejoras en la industria, tanto para las organizaciones que la desconocen como para las que por diversas causas no han obtenido los resultados esperados.

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DE LA GESTIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN.

La construcción es una industria que presenta condiciones inconstantes que determinan la fuerte variación de su comportamiento y su incidencia en el equilibrio de crecimiento en la economía nacional, sus productos inciden de forma directa e indirecta en el progreso de la sociedad ya que es considerado uno de los indicadores más fiables de la situación económica de un país.

No obstante la industria de la construcción fue uno de los sectores que padeció más intensamente el proceso de crisis en Colombia. Los primordiales motivos para la obstrucción de esta industria fueron las elevadas tasas de interés desde finales de 1994, la caída en la demanda y el poco atractivo inversor provocado por la fuerte inestabilidad política que atravesaba el país. A pesar de diferentes tipos de problemas la construcción en Colombia logro mantenerse activa gracias a los proyectos de construcción de vivienda de interés social que se adelantaron.

1.1.1 Participación de la Construcción en el PIB.

Después de constituir uno de los principales renglones en la economía colombiana, la construcción tuvo un crecimiento negativo precipitado, reduciendo dramáticamente su participación en el PIB, pero según las muestras de reactivación el PIB de construcción registró una variación positiva del 12,36%, el PIB de los subsectores obras civiles y edificador registraron incrementos del 18,81% y del 3,32%, respectivamente y los pagos realizados por concepto de obras de infraestructura crecieron el 13,66%, comportamiento que obedeció en gran medida a los mayores

niveles de inversión en el grupo carreteras, calles, caminos y puentes, el cual creció el 20,98%.¹⁰



Figura 1. Crecimiento de PIB en Colombia¹¹.

En términos de la participación en el Producto Interno Bruto, PIB, la tendencia registrada por el sector construcción durante los últimos seis años refleja ganancia en su nivel de contribución.

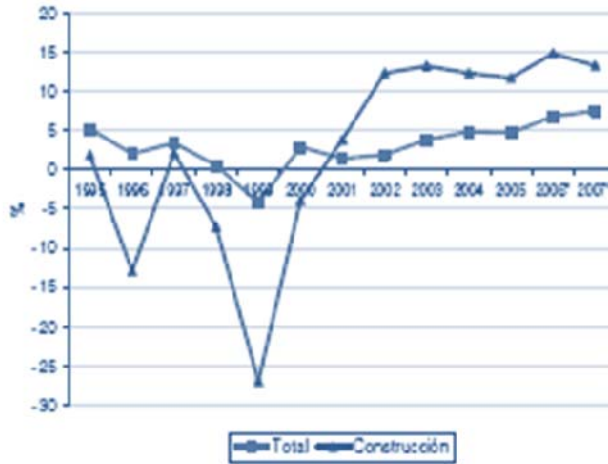


Figura 2. Crecimiento del PIB total y del sector de la Construcción en Colombia¹².

¹⁰ DANE - Boletín de prensa, Indicadores Económicos alrededor de la construcción - I Trimestre de 2008.

¹¹ DANE – Cuentas Nacionales – Crecimiento del PIB en Colombia 1996-2007. Dato Preliminar.

¹² DANE – Cuentas Nacionales – Crecimiento del PIB y del sector de la Construcción de Colombia 1996-2007. Dato Preliminar.

A pesar de su importancia, la construcción es uno de los sectores de menor grado de desarrollo, convirtiéndose en una actividad caracterizada por grandes deficiencias y falta de efectividad que se reflejan en la poca competitividad, y coloca a las empresas constructoras en desventaja frente a los mercados globalizados de la economía internacional, la cual busca profesionales muy calificados capaces de gestionar la creciente complejidad técnica y operativa de este sector.

1.1.2 Gestión en la Construcción.

La industria de la construcción según el paso de los años ha mantenido tradicionalmente procesos constructivos y de diseño, fijados en prototipos totalmente enraizados de la cultura constructora. Por esta razón, las obras de construcción civil siguen siendo realizadas con base en la experiencia y en general se continúan desarrollando procesos artesanales que traen ineficiencia y encarecen el producto final.

La Gestión de la Construcción estudia las actividades financieras, técnicas, de impacto ambiental, riesgos, normativas, y gestión asociadas con el desarrollo de proyectos de construcción, incluyendo conceptos de negocio y de construcción, así como estrategias de marketing que permitan el funcionamiento continuo y lucrativo de la empresa constructora. En las empresas Constructoras la Gestión incluye su organización, estructura corporativa, procedimientos de funcionamiento, marketing y recursos humanos. Pone énfasis en la seguridad y prevención de pérdidas, seguros, gestión de riesgos, financiación, contabilidad, y el marketing de los servicios.

En los últimos años, ésta industria se ha enfocado en la búsqueda de su desarrollo tecnológico, impulsando a las empresas al despliegue e implantación de nuevas tecnologías de organización y modernización de

la gestión que les permitan ser más competitivas y garanticen su permanencia en el mercado. Por estas razones han surgido diferentes opciones en el adelanto de los procesos de construcción existentes, todas éstas orientadas a mejorar la concepción de los procesos constructivos teniendo en cuenta la importancia de determinar el nivel de desempeño de los procesos productivos y establecer el nivel de pérdidas en la obtención de datos, alimentando con información muy relevante los diferentes procesos administrativos.

Por causa de la competitividad en el mercado constructivo, las empresas están sujetas a revisar y mejorar sus métodos de trabajo para posicionarse satisfactoriamente con respecto a sus competidores, como resultado de éste mejoramiento progresivo dichas empresas comienzan a comprender la necesidad de la Gestión en la construcción, ingresando a ésta industria la *Filosofía Lean Construction*, la cual desde el punto de vista global del desarrollo de proyecto evalúa las actividades de recolección de datos durante el control de avance de la construcción, desarrollo crítico que alimenta otros procesos desde la planeación media y semanal, hasta el cierre del proyecto.

En la industria latinoamericana, Brasil y Chile son los países que han desarrollado tecnologías más avanzadas para mejorar la productividad en el sector de la construcción, para lograr esto fue necesario identificar y establecer aquellos procesos más críticos de control de la producción que se deberán mejorar a partir del uso de las tecnologías de información y filosofía lean.

Para la industria de la construcción nacional, este cambio ofrece una oportunidad para enfrentar los desafíos que se plantean, teniendo en cuenta que existe importante evidencia en la planificación corporativa de las empresas constructoras internacionales ha existido un cambio desde un enfoque táctico hacia uno estratégico proactivo.

1.2 NUEVO ENFOQUE DE LA PRODUCCIÓN.

La construcción en Colombia y Latinoamérica atraviesa por diferentes problemas como la baja productividad debido a falta de planeación, escasez de mano de obra calificada, pésimas condiciones de trabajo, seguridad y calidad, convirtiéndose en una actividad caracterizada por grandes deficiencias. Esta tendencia, es la base para el desarrollo de una nueva filosofía, destacando la importancia de las teorías básicas y los principios relacionados con los procesos de producción.

Nuevos e innovadores sistemas de gestión han sido desarrollados e implementados en empresas manufactureras desde la década de los 50 especialmente en el sistema de producción de Toyota (STP). Esta metodología propuesta por Taiichi Ohno quien sentía que la meta de Toyota era acortar la línea de tiempo, desde el momento en que el cliente hace un pedido hasta el momento en que el dinero en efectivo es reunido. La base de esta filosofía es la eliminación absoluta de las pérdidas como el empleo excesivo de recursos para la producción, inversión innecesaria de capital, exceso de producción y existencias.

Todos estos principios fueron adoptados e introducidos en la industria manufacturera y aplicados por ingenieros industriales en diferentes tipos de producción, generando las bases de *Lean Production*:

- **TQC - Total Quality Control (Control total de la calidad).**
 - Mejoramiento continuo.
 - Enfoque al cliente.
 - Énfasis en la prevención.
 - Compromiso de todos.
 - Estandarización de procesos.

- **JIT - Just in Time (Justo a Tiempo).**

- Reducción o eliminación de inventarios.
- Producción a partir de demanda del mercado.
- Reducción del tiempo de ciclo.
- Reducción del tamaño de los lotes de producción.

Se definieron los requisitos fundamentales para la aplicación de esta nueva filosofía:

- Fuerza de trabajo flexible.
- Control descentralizado: división de la producción en mini-empresas.
- Reducción del tiempo de set-up (instalación).
- Mantenimiento preventivo.
- Redefinición del Layout (distribución planta).
- Énfasis en mejora continua.
- Cooperación con proveedores.

Pero solo a principios de los años 90 se presento por parte de Lauri Koskela (1992) en un estudio titulado "APPLICATION OF THE NEW PRODUCTION PHILOSOPHY TO CONSTRUCTION" un análisis del impacto de las nuevas tendencias en la industria de la construcción.

1.2.1 Nueva filosofía de producción: Origen, desarrollo e ideas principales.

- **Orígenes y Difusión.**

Las ideas de la nueva filosofía se originaron en Japón en los años 1950,

donde la mayoría de aplicación destacada fue el sistema de producción Toyota. La idea básica en los sistemas de producción Toyota es la introducción de mecanismos más efectivos que los utilizados por los productores en masa, eliminando las pérdidas en tiempo, capital y equipos.

Estas ideas se han desarrollado y perfeccionado por los ingenieros en un largo proceso de prueba y error. En consecuencia, hasta principios de la década de 1980, la información y la comprensión del nuevo enfoque en Occidente eran limitadas.

- **Evolución Conceptual.**

La concepción de la nueva filosofía de producción como una filosofía de gestión general, fue promovida inicialmente por Deming (1982), Schonberger (1990), la Asociación de Investigación de las fuentes de energía nuclear (Shinohara 1988) y Plossl (1991). Cada uno ha formulado un conjunto de principios de ejecución que han evolucionado a través de tres etapas (Plenert 1990):

- Un conjunto de herramientas (como círculos de calidad).
- Un método de fabricación (como JIT).
- Una filosofía de gestión (denominado producción ajustada, de clase mundial fabricación, JIT / TQC, el tiempo basado en la competencia, etc.).

La comprensión del nuevo enfoque de producción es todavía limitado. A pesar de los esfuerzos para aumentar la el nivel de abstracción de la definición, todavía no existe una unificada, coherente y consecuente teoría.

Otra interesante caracterización es provista por Umble y Srikanth (1990), que requieren una filosofía de fabricación que debe contener los siguientes elementos:

- Definición del objetivo común en términos que son comprensibles y significativos para todos en la organización.
- El desarrollo de las relaciones entre las acciones individuales y comunes del objetivo global.
- Directrices para la gestión de las distintas acciones a fin de lograr el mayor beneficio.

- **Beneficios.**

Los beneficios de la nueva filosofía de producción en términos de productividad, calidad y otros los indicadores han sido tangibles en la práctica, y suficientes para garantizar una rápida difusión de los nuevos principios.

Lean producción se caracteriza comparativamente con la producción en masa por la mitad el esfuerzo humano en la fábrica, la mitad del espacio de fabricación, la mitad de las inversiones en instrumentos, la mitad de las horas de ingeniería para desarrollar un nuevo producto en la mitad del tiempo.

1.2.2 Base Conceptual de la Filosofía de Producción Convencional.

- **Modelo de Conversión**

La producción como un proceso de conversión puede definirse de la siguiente manera:

- Un proceso de producción es una conversión de una señal de entrada a una salida. Varias disciplinas (por ejemplo, la economía y la ingeniería industrial) han usado esta idea como una base para entender la producción. El modelo (figura 1), permite unas cómodas mediciones, como las de productividad, por ejemplo, la proporción de la producción a la entrada en un determinado período de tiempo. Así pues, incluso si no tenemos el proceso de conversión en mente, nuestros conceptos y mediciones a menudo reflejan implícitamente este modelo.
- El proceso de conversión se pueden dividir en subprocesos, que también se convierten en procesos.
- El costo total del proceso puede ser minimizado por reducir al mínimo el costo de cada subproceso.
- El valor de la producción de un proceso se asocia con los costos (o valor) de los insumos para ese proceso.

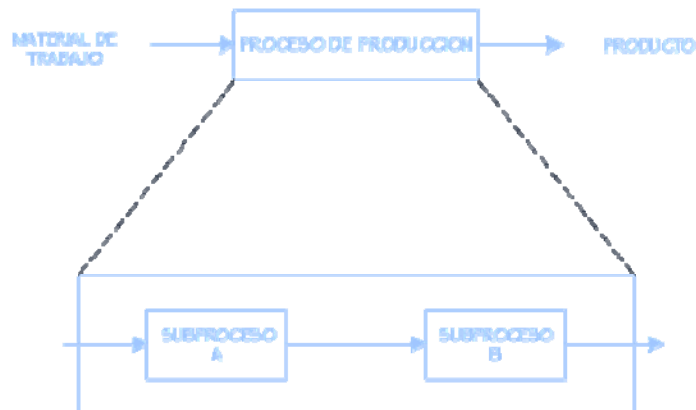


Figura 3. La opinión convencional de un proceso de producción como un proceso de conversión puede ser dividida jerárquicamente en subprocesos.

La teoría convencional que se apoya este modo de control, se basa en los siguientes supuestos (Umble & Srikanth 1990):

- Costo total del proceso de producción es igual a la suma de los costos de cada operación.
- El costo total de cada operación (excluyendo gastos de material) es proporcional al costo de mano de obra directa para la operación.

Si el costo laboral de cualquier operación se puede reducir, el costo total se reducirá tanto como los costos laborales respectivos y los correspondientes gastos generales. Por lo tanto, el impacto financiero de cualquier cambio particular en todo el proceso de producción se puede determinar. La atención se centró en la gestión de costos en cada operación, subproceso o departamento. En un orden jerárquico los gastos de organización de cada unidad deben minimizarse.

1.2.3 Base Conceptual de la Nueva Filosofía de Producción.

El nuevo modelo conceptual es una síntesis y generalización de los diferentes modelos sugeridos en diversos ámbitos, como el movimiento JIT (Shingo 1984) y la calidad del movimiento (Pall 1987). Por lo tanto, la tarea es desarrollar un modelo que cubra todos los aspectos importantes de producción, especialmente en los que se carece del modelo de conversión.

La producción es un flujo de material y/o información de la materia prima hasta el final del producto (Figura 2). En este flujo, el material se procesa, es inspeccionado, está esperando o se está moviendo. El procesamiento representa el aspecto de conversión de la producción; inspeccionar, el movimiento y la espera representan el aspecto de flujo de la producción. El Flujo de procesos puede caracterizarse por el tiempo, costo y valor, donde valor se define como el cumplimiento de los requisitos del cliente. En la mayoría de los casos, sólo son actividades de procesamiento las actividades que agregan valor al producto final.

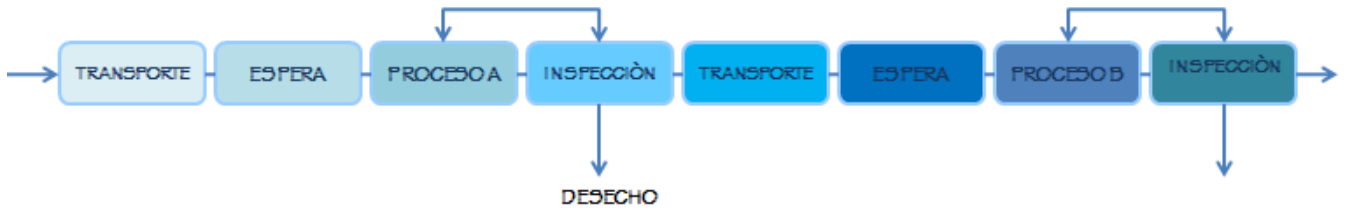


Figura 4. Producción como un flujo de proceso.

En esencia, la nueva conceptualización implica una doble vista de la producción, que consta de las conversiones y las corrientes. Si bien todas las actividades, cuestan, gastan y consumen tiempo, sólo las actividades de conversión que añaden valor al material o pieza de información se transforman en un producto. De este modo, la mejora de flujo de las actividades se centraron principalmente en su reducción o eliminación, mientras que la conversión actividades, tienen que ser más eficiente.

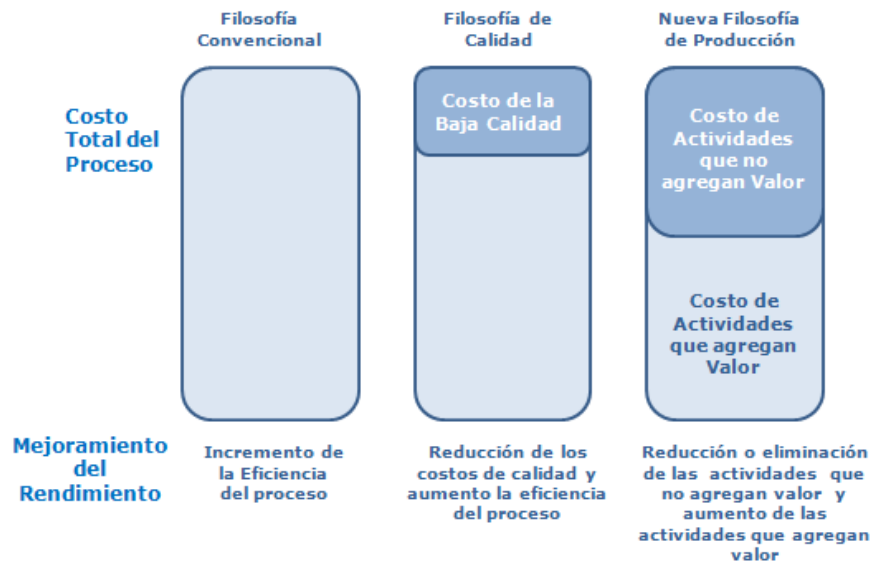


Figura 5. Mejora del rendimiento en la producción convencional, enfoque de la nueva filosofía de producción.

1.2.4 Principios para el Diseño de Flujo y la Mejora.

La nueva filosofía de producción presenta los siguientes principios que se aplican tanto a la totalidad del proceso como a los subprocesos, que buscan reducir los tiempos de ciclo, aumentar la producción y examinar las mejoras. Estos principios son afines y deben ser aplicados simultáneamente para obtener resultados satisfactorios.

Según Koskela, son once los principios fundamentales en el nuevo enfoque de producción:

- **Reducción de las Actividades que No Tienen Valor Añadido (Pérdidas).**

La reducción de las actividades que no agregan valor es una línea fundamental, las investigaciones y la experiencia demuestran que estas actividades dominan la mayoría de los procesos constructivos y su participación en el total de tiempo de ciclo es predominante.

El sistema tradicional de organización contribuye al esparcimiento de las actividades que no agregan valor, cada vez que una tarea es dividida en subtareas ejecutadas por diferentes especialistas, aumentan las actividades que generan pérdidas. Este principio del nuevo enfoque de producción busca mejorar la eficiencia de los procesos y reducir las pérdidas teniendo en cuenta la eliminación de las actividades que no agregan valor al proceso o al producto final.

Inicialmente es importante determinar las actividades de flujo, representándolas en diagramas de flujo de proceso. Una vez establecidas, pueden ser medidas, controladas y eliminadas, por ejemplo usar mecanismos de transporte adecuados que eviten los variados e

innecesarios movimientos de trabajadores que reducen el rendimiento y aumentan el desperdicio de materiales.

- **Aumentar el Valor del Producto Final a través de un Examen Metódico de los Requisitos del Cliente.**

El valor del producto final es generado mediante el cumplimiento y satisfacción de los requisitos del cliente y no por las transformaciones en el proceso.

Los principios de la filosofía convencional no se enfocan en la identificación clara y el cumplimiento satisfactorio de las necesidades del cliente, por lo tanto en este nuevo enfoque se deben realizar diseños metódicos donde se definen los clientes en cada etapa del proceso y se analizan sus necesidades. Para esto es necesario contar con diferentes tipos de datos que estén relacionados con las necesidades y requisitos de cliente los cuales pueden ser obtenidos a través de experiencias previas e investigaciones de mercado.

- **Reducción de la Variabilidad.**

Los procesos de producción son variables. Existen diferencias entre productos aunque sean realizados con los mismos recursos (tiempo, materia prima, mano de obra).

Existen dos razones que validan la importancia de la reducción de la variabilidad del proceso. En primer lugar, por parte del cliente un producto uniforme es mejor. En segundo lugar, la variabilidad, especialmente la duración de la actividad, aumenta el volumen de las actividades que no agregan valor. Por lo tanto, la reducción de la variabilidad dentro de los

procesos debe ser un objetivo específico que busca reducir la incertidumbre y aumentar la previsibilidad. El enfoque de la nueva filosofía relacionado con la disminución de la variabilidad está formado por diferentes procedimientos teóricos de control estadístico. Principalmente, estos se ocupan de medir la variabilidad, y facilitar la eliminación de sus causas fundamentales, logrando así la normalización de las actividades mediante la aplicación de procedimientos sistematizados tanto en la conversión como en el flujo de procesos.

- **Reducción del Tiempo de Ciclo.**

Un flujo de producción puede caracterizarse por el tiempo de ciclo, lo que se refiere al tiempo que tarda una pieza de material en atravesar el flujo. El tiempo de ciclo resulta de la sumatoria del tiempo de procesamiento, tiempo de espera, inspecciones y transporte.

La justificación básica para la mejora de la producción en la nueva filosofía es la de disminuir del tiempo de ciclo, lo cual se logra reduciendo al máximo las actividades que no agregan valor al producto final.

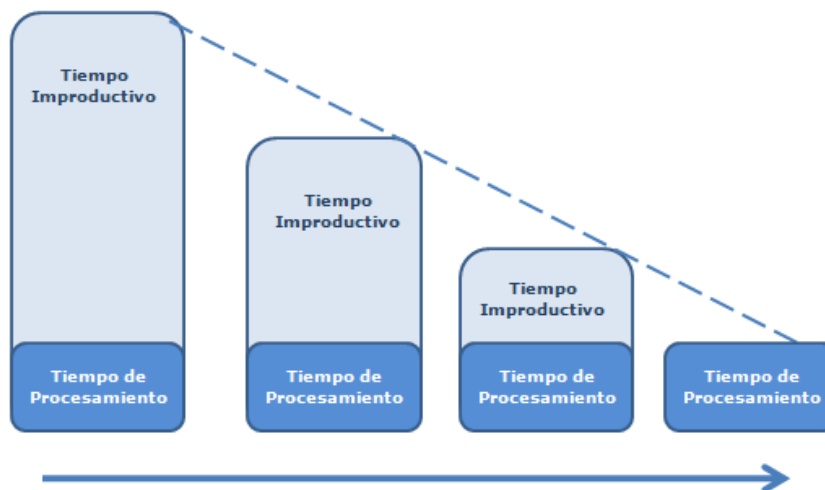


Figura 6. El ciclo de tiempo puede ser comprimido progresivamente mediante la eliminación de las actividades que no agregan valor y la reducción de la variabilidad. (Berliner y Brimson, 1988).

- **Simplificar el Proceso Reduciendo el Número de Pasos y Partes.**

La complejidad de un producto o proceso incrementa sus costos finales más allá de la suma de los costos de las diversas partes o etapas. Convencionalmente son tenidos en cuenta los precios de los materiales y la mano de obra, pero no los costos adicionales de la totalidad de la producción. Estos costos adicionales pueden ser simplificados eliminando las actividades que no agregan valor, optimizando el desarrollo de los pasos o partes cada proceso.

La simplificación de los procesos puede lograrse de diversas formas:

- La reducción de los flujos por la consolidación de actividades.
- La reducción de cambios en el diseño.
- La normalización de partes, materiales, herramientas, o piezas prefabricadas.
- Planeamiento eficaz del proceso de producción.

- **Aumentar la Flexibilidad de la Producción.**

La flexibilidad se refiere a la posibilidad de alterar las características del producto final entregado al cliente, sin aumentar considerablemente los costos del mismo.

Inicialmente aumentar la flexibilidad de la producción parece contradecir la simplificación. Sin embargo, muchas empresas han tenido éxito en el logro de ambos objetivos simultáneamente (Tallo & Hout 1990). Algunos de los elementos clave son el diseño modular del producto, la estandarización de partes y piezas del producto, y la implementación de multicuadrillas que realicen varias actividades, adoptando así el nuevo modelo de producción.

Para aumentar la flexibilidad de la producción es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- Reducir al mínimo los tamaños de lote para satisfacer la demanda inmediata.
- La reducción de procesos constructivos complejos.
- La formación de multicuadrillas con mano de obra calificada.

- **Aumentar la Transparencia del Proceso.**

La falta de transparencia en el proceso aumenta la probabilidad de cometer errores, reduce la visibilidad de éstos, y disminuye la motivación para mejorar.

Por lo tanto, es un objetivo principal del nuevo enfoque de producción realizar un proceso transparente, visible y comprensible para todos los empleados, que facilite el control y la mejora. Esto puede lograrse haciendo que el proceso sea conocido a través de organización o medios físicos, mediciones y exposición pública de la información.

- **Enfocar el Control al Proceso Completo.**

Cuando el flujo atraviesa diferentes unidades o cruces de organización a través de una frontera existe un riesgo de suboptimización, lo que genera un riesgo la optimización de cualquier actividad dentro de un proceso global.

La aplicación de este principio se basa en el cambio de pensamiento del sistema de producción, especialmente hacia un enfoque sistémico de los problemas, entendiendo el proceso como un todo en lugar de tener un enfoque específico en las operaciones del mismo. Se requiere entonces

del establecimiento de alianzas con los proveedores y subcontratistas y la definición clara de responsabilidades para el control global del proceso.

- **Construir una Mejora Continua en el Proceso.**

El esfuerzo para reducir los residuos y aumentar el valor del producto final, requiere de diferentes métodos necesarios para la institucionalización de la mejora del proceso que deben llevarse a cabo continuamente:

- La medición y el seguimiento de los procesos.
- Establecimiento de metas en cada parte del proceso, mediante las cuales se identifican los problemas y se establecen las soluciones antes de completar el proceso o producto final.
- Dar la responsabilidad de mejorar a todos los empleados, una mejora constante de cada unidad de organización donde se exijan y sean recompensados.
- Usar procedimientos estandarizados.
- Control de las limitaciones y los problemas del proceso. El objetivo es eliminar la raíz de los problemas en lugar de hacer frente a sus efectos.

- **Balancear el Mejoramiento de los Flujos y las Conversiones.**

Los mejoramientos en los flujos y las conversiones están muy relacionados, ya que una mejor administración de los flujos facilita la introducción de nuevas tecnologías y disminuye las necesidades de mayor capacidad de producción en las actividades de conversión.

Es importante entonces como principio del nuevo enfoque de producción, que exista un equilibrio entre ambas. Dentro de un proceso específico, en general, debe haber un intercambio entre el mejoramiento continuo en la realización de acciones internas y las innovaciones tecnológicas que sean posibles de acuerdo con el alcance de la empresa, lo cual influye en la reducción de la variabilidad de los flujos.

- **Benchmarking (Referenciación).**

A menudo la evaluación comparativa es un estímulo útil para lograr el avance a través de la mejora continua de los procesos, con la observación y adopción de buenas practicas externas en otras empresas o sectores.

En este proceso es la resistencia natural a los cambios que se producen desde los trabajadores de la obra hasta la administración superior. Dentro de esta perspectiva es necesario desarrollar metodologías de fácil implementación y con resultados prácticos, teniendo en cuenta las necesidades de la empresa, conociendo y evaluando las fortalezas y debilidades para así comparar las prácticas de los líderes del sector o competidores.

En la construcción se conocen actualmente cinco sistemas de referenciación para el Benchmarking en le mundo:

- Benchmarking and metrics (Estados Unidos).
- KPI (Construction Excellence, Reino Unido).
- Sistema Nacional para la Referenciación de la Construcción (CDT Chile).
- Sistema de Indicadores para Benchmarking en la Construcción Civil (Sisind-Net, UFRGS, Brasil).

- BenchColombia (Sistema de Referenciación para la Construcción).

En Colombia, el proyecto de Benchmarking fue desarrollado por GESCON (Grupo de Investigación en Gestión de la Construcción, Universidad EAFIT, Medellín), con la cofinanciación del SENA, el apoyo del grupo Argos y la participación de importantes empresas de la ciudad de Medellín.

1.2.5 Comparación entre el Sistema Tradicional y la Nueva Filosofía de Producción.

Lean construction al igual que la práctica actual tiene el objetivo de satisfacer las necesidades del cliente. Pero, a diferencia de la práctica actual, la *Filosofía Lean* se basa en la construcción con principios de gestión de la producción.

	CONCEPTO TRADICIONAL DE PRODUCCION	NUEVO CONCEPTO DE LA PRODUCCION
CONCEPTO	La producción esta compuesta por una serie de conversiones que agregan valor.	La producción está compuesta por flujos (no agregan valor) y conversiones (agregan valor).
CONTROL DE PRODUCCION	Dirigido al costo de las actividades.	Dirigido al tiempo, costo y valor de los flujos.
MEJORAMIENTO	Incremento de la eficiencia de las conversiones mediante la utilización de nueva tecnología.	Eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas), incrementando la eficiencia de las actividades que si lo agregan, por medio del mejoramiento continuo y la implementación de nuevas tecnologías.

Figura 7. Comparación entre los dos Sistemas de Producción.

2.1 CONCEPTUALIZACIÓN DE PÉRDIDAS.

A partir de la introducción de los sistemas de producción de la industria manufacturera a la industria de la construcción y basándose en la observación de los procesos se han definido las necesidades de medición de desempeño entre ellas según Koskela (1992) son: medición de pérdidas, valor, tiempos y variabilidad.

La aplicación de los principios a través del proceso de planificación y control de la producción se basa inicialmente en la identificación de los flujos y las pérdidas en todos los procesos. En esta etapa se deben presentar los principios y las herramientas para identificar la metodología y proponer la aplicación en las empresas.

La reducción de actividades que no agregan valor es el principio más general de lean construction, es el primer objetivo para alcanzar físicamente en la obra, pero para lograr esto se debe definir inicialmente una metodología adecuada de medición e identificación de perdidas que permitan emitir un diagnostico de la situación de los procesos y proyectos que tenga en desarrollo la empresa, para poder implementar medidas de mejora y optimización logrando un máximo aprovechamiento de los diferentes recursos.

Según Alarcón (2002) todo lo que sea distinto de los recursos mínimos para agregar valor al producto se considera pérdida, en la industria de la construcción tenemos: esperas ocasionadas por falta de instrucciones, de abastecimiento de materiales, interferencias, transportes innecesarios, mala distribución de los recursos y ausencia de planificación, entre muchos otros.

Para realizar una identificación de pérdidas en los procesos y en los proyectos la medición de desempeño es primordial para conducir el mejoramiento interno de la organización, así como obtener y comparar los

datos obtenidos. Para las organizaciones directamente asociadas 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 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 confiable¹³.

2.2 DESARROLLO DE ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN BASADO EN IDENTIFICACION Y ELIMINACIÓN DE PÉRDIDAS.

Todo proyecto se desarrolla con base en procesos los cuales deben tener una metodología de iniciación, planeación, ejecución, control, cierre y entrega y operación y mantenimiento¹⁴. Pero los procesos constructivos

¹³ Tommelein et. al. 1998.

¹⁴ PMBOK 3ª Ed

como ya es conocido no son manejados de una manera técnica y científica y esta caracterizada por el empirismo y la improvisación, para poder realizar una administración óptima del proyecto constructivo y lograr la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas, y técnicas de manera que cumplan o excedan las necesidades y expectativas de partidos interesados, es necesario conocer y evaluar todas y cada una de las actividades que componen los procesos y el primer paso en conocer su funcionamiento no solo como procesos de conversión sino como flujos.

El desarrollo de las Técnicas de medición para el conocimiento y evaluación del los procesos debe iniciarse haciendo una discriminación y clasificación de las actividades que la componen.



Figura 8. Iniciación Filosofía Lean Construction.



Figura 9. Pérdidas de Productividad.

El análisis de las pérdidas de productividad debe realizarse individualmente a los diferentes proyectos de construcción dado que estos son tareas únicas, e involucran cierto nivel de incertidumbre, para la administración y gerencia las organizaciones ejecutaras dividirán cada proyecto en fases dependiendo del ciclo de vida del proyecto así:

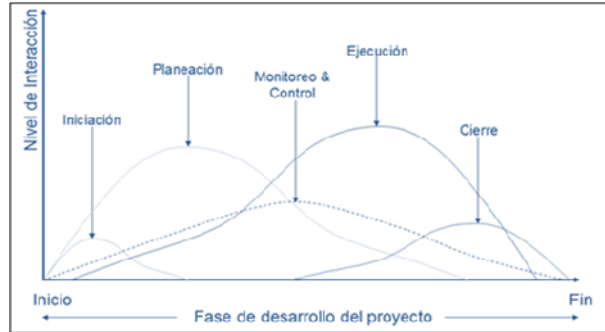


Figura 10. Fases del ciclo de vida del proyecto.

Cada fase del proyecto es marcada por la terminación de una o más entregas, un producto de trabajo verificable, las entregas, y por tanto las fases, son parte generalmente de una secuencia lógica **diseñada** para asegurar una definición apropiada del producto del proyecto.

Teniendo en cuenta estas divisiones de las fases de ejecución del proyecto se debe iniciar la identificación y clasificación de pérdidas en cada uno de los procesos y actividades correspondientes, pero antes se debe diferenciar y aclarar ¿que son y como se clasifican estas pérdidas?

Para los administradores y gerentes de proyecto siempre se debe tener clara el área de influencia y control sobre el desarrollo del proyecto de ahí que se de la necesidad identificar los escenarios: área controlable y área no controlable, cada una de las cuales tienen sus propias características.

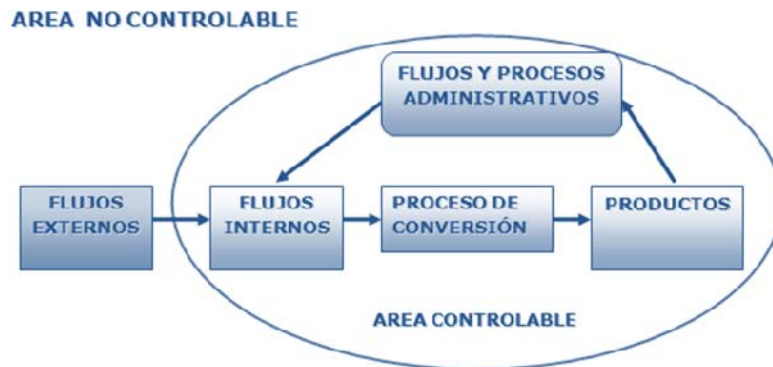


Figura 11. Áreas Controlable y No Controlable del Proyecto.

2.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CAUSAS DE PÉRDIDAS.

Para iniciar un diagnostico y definir un rumbo para implementar las diferentes técnicas de mejora debemos clasificar los procesos en los cuales iniciaremos la evaluación, para llegar a una discriminación de los procesos debemos saber que posibles problemas encontraremos en cada uno de ellos, clasificando las causas de las pérdidas, además debemos regirnos por las fases de vida del proyecto teniendo en cuenta que los niveles de recursos y costos son bajos al comienzo, más altos hacia el final, y caen rápidamente a medida que se llega a la finalización, con lo cual los procesos de planificación y programación son básicos para el resultado final del todo el proyecto, así pues la contribución más grande de este fenómeno es que los costos de cambio y de corrección de errores generalmente se incrementan a medida que el proyecto avanza.

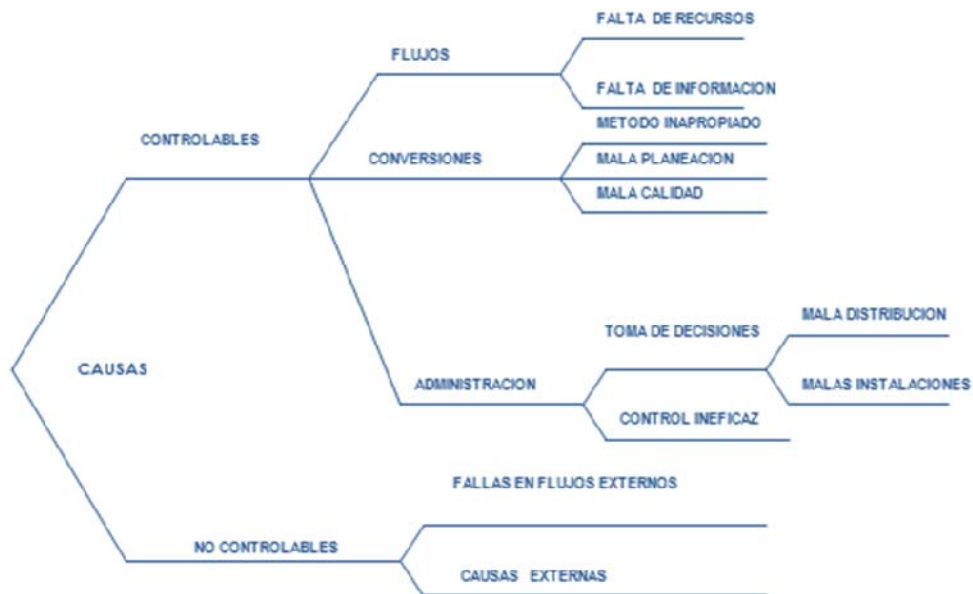


Figura 12. Clasificación de Causas de Pérdidas.

2.4 METODOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN DE PÉRDIDAS.

Se deben establecer por parte de la dirección de proyecto una evaluación de la inactividad y el trabajo ineficaz en la obra mediante metodologías claras de clasificación:

DETERMINACIÓN DE FACTORES DE CARACTERIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN PROYECTOS DEACUERDO AL ANALISIS DE PROCESOS			
TIPO	CAUSA		OBSERVACIONES
CONTROLABLES ASOCIADAS A FLUJOS	ANALISIS DE RECURSOS	MATERIALES	Falta de Materiales Distribución inadecuada de Materiales Medios de Transporte inadecuados
		EQUIPOS	No disponibilidad de equipos Equipos inadecuados Ineficiente utilización
	INFORMACIÓN		Baja Calidad de Información Retrasos en la entrega de Información
CONTROLABLES ASOCIADAS A CONVERSIONES	MÉTODO		Mal diseño de cuadrillas de trabajo Procedimientos inadecuados
	PLANEACIÓN		Falta de áreas de trabajo Superpoblación de trabajadores Pobres condiciones de trabajo
	CALIDAD		Falta de calidad en los procesos Daños en productos terminados
CONTROLABLES ASOCIADAS A LA ADMINISTRACIÓN	TOMA DE DECISIONES		Inadecuada Distribución del personal Inadecuada Disposición de Instalaciones
	SUPERVISIÓN Y CONTROL		Falta de Control Inadecuados métodos de Medición Interpretación Inadecuada de Datos
CAUSAS NO CONTROLABLES	FACTORES CLIMATICOS		Malas condiciones climáticas
	PROVEEDORES		Deficientes procesos de abastecimiento
	DISEÑOS		Diseños Inadecuados Deficientes especificaciones

Figura 13. Determinación de factores de caracterización de pérdidas en proyectos de acuerdo al análisis de procesos.

2.4.3 Encuesta de Identificación de Pérdidas.

Esta se utiliza para identificar las pérdidas en los proyectos, este formato esta desarrollado para ser diligenciado por el personal de dirección de obra el cual debe evaluar y tomar las acciones necesarias para reducir las pérdidas en los procesos de producción propiamente dichos:

Clasifique según su frecuencia las siguientes fuentes de pérdidas				
	Nunca	Frecuente	Ocasional	Rara vez
Administración				
1.- Requerimientos Innecesarios	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.- Exceso de Control	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.- Falta de Control	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.- Mala Planificación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.- Excesiva Burocracia	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Uso de Recursos				
1.- Exceso de Cantidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.- Falta de Cantidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.- Mal Uso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.- Mala Distribución	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.- Mala Calidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6.- Disponibilidad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sistemas de Información				
1.- No Necesaria	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.- Defectuosa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.- Atrasada	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4.- Poco Clara	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otras (por favor especifique):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Indique cuáles son las 5 pérdidas más frecuentes según su percepción:	
1.- Trabajo sin hacer	<input type="checkbox"/>
2.- Rehacer trabajo	<input type="checkbox"/>
3.- Trabajo innecesario	<input type="checkbox"/>
4.- Errores	<input type="checkbox"/>
5.- Detenciones	<input type="checkbox"/>
6.- Pérdida de materiales	<input type="checkbox"/>
7.- Deterioro de materiales	<input type="checkbox"/>
8.- Mov. innecesarios de gente	<input type="checkbox"/>
9.- Mov. innecesarios de materiales	<input type="checkbox"/>
10.- Exceso de vigilancia	<input type="checkbox"/>
11.- Supervisión extra	<input type="checkbox"/>
12.- Req. excesivos de espacio	<input type="checkbox"/>
13.- Retraso de actividades	<input type="checkbox"/>
14.- Procesamiento extra	<input type="checkbox"/>
15.- Necesidad de aclaraciones	<input type="checkbox"/>
16.- Desgaste anormal de equipos	<input type="checkbox"/>
Otras (por favor especifique):	<input type="checkbox"/>

Ordene estas 5 pérdidas según su importancia:	
1)	
2)	
3)	
4)	
5)	

Figura 16. Formato de Encuesta de Identificación de Pérdidas.

3.1 LAST PLANNER SYSTEM: El Último Planificador.

En Colombia existen muy pocas empresas del sector de la construcción que han implementado en su sistema los conceptos de la *filosofía Lean Construction*. Pero debido a la globalización y a la aparición de nuevas empresas constructoras en el mercado colombiano las empresas de este sector han visto la necesidad de cambiar muchos conceptos tradicionales para ingresar a este nuevo mercado exigente, con clientes mejor informados y exigencias mayores. Con la introducción al medio de los conceptos de “*Lean Construction*” se abre una serie de posibilidades en el sector que permiten mejorar sus procesos, ser más eficientes y generar un mayor impacto positivo en la comunidad y al interior de la industria.

El profesor Glenn Ballard, desarrollo los conceptos básicos de un modelo denominado el último planificador (*Last Planner*), con el objetivo de incrementar la confiabilidad de los proyectos disminuyendo la incertidumbre de la planificación de los mismos, obteniendo mejoras importantes en el desempeño de las empresas.

El objetivo básico de la planificación se basa en una adecuada definición de actividades, determinando las dificultades y con una óptima utilización de los recursos disponibles, estableciendo metas y objetivos para su consecución. Para realizar un aumento considerable de la confiabilidad es necesario introducir planificaciones intermedias y semanales, enmarcadas dentro de un plan maestro o general del proyecto, analizando las restricciones que impiden el desarrollo de las tareas. De esta manera, una vez son conocidas las restricciones es posible intervenir antes de que sucedan, de esta forma se garantiza el desarrollo de las actividades sin ningún tipo de complicaciones.

3.1.1 Sistema Tradicional de Planeación.

En los proyectos de construcción actuales, en donde la planeación se realiza de forma tradicional, generalmente se formulan metas que difieren de lo que realmente se puede hacer, lo cual trae consigo grandes consecuencias. Por ejemplo en el sistema tradicional no son tenidas en cuenta las interacciones de las actividades a través del flujo, así como tampoco son analizadas las interferencias en el sistema cuando alguna actividad no pueda realizarse, además no se realiza seguimiento formal del desempeño de los proyectos, para confrontar lo que falta por realizar teniendo en cuenta lo que es realmente ejecutado, lo que debió haberse hecho y las razones del cumplimiento.



Figura 17. Sistema Tradicional de Planeación.¹⁵

3.1.2 Sistema de planeación LAST PLANNER.

El nuevo modelo de planeación cambia el enfoque de producción, en el que se planifican las actividades según lo que debe hacerse, por otro en el que se remueven las restricciones, después de lo cual se planifican las actividades que pueden ejecutarse, rebajando así la incertidumbre en la planeación.

¹⁵ Luis Fernando Botero Botero – Construcción sin pérdidas– Memorias Lean Camacol 2008.

El sistema *Last Planner* es una herramienta en la cual se cambia la mentalidad tradicional de la utilización del cronograma de obra o Plan Maestro como un elemento de control y convertirlo en un instrumento que ayuda a que todas las actividades planificadas se cumplan en los tiempos programados.



Figura 18. Sistema de Planificación LAST PLANNER.¹⁶

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE TRABAJO	
DEFINICIÓN	Las asignaciones son suficientemente específicas para ser planeadas.
SENTIDO	Las asignaciones pueden ser ejecutadas. Se entienden, se cuenta con los materiales, los prerrequisitos, etc.
SECUENCIA	Poseer la secuencia correcta de trabajo, es decir, la secuencia que mejor permita concretar los objetivos del proyecto.
TAMAÑO	Poseer la correcta cantidad de trabajo, es decir, la cantidad que pueda ser realizada, dada la capacidad de la empresa.

¹⁶ Luis Fernando Botero Botero – Construcción sin pérdidas – Memorias Lean Camacol 2008.

APRENDIZAJE	Las asignaciones no completadas se han analizado y se ha tomado acción sobre las causas.
--------------------	--

Figura 19. Criterios para la asignación de trabajo.

El sistema *Last planner* pretende incrementar la confiabilidad de la planificación, mejorando de esta manera el desempeño de la empresa, incrementando la confiabilidad con acciones en dos niveles diferentes a los considerados tradicionalmente (Plan Maestro), teniendo en cuenta las necesidades del cliente y ajustándose a los recursos y tiempo disponibles: planificación intermedia (mediano plazo) y planificación semanal (corto plazo).

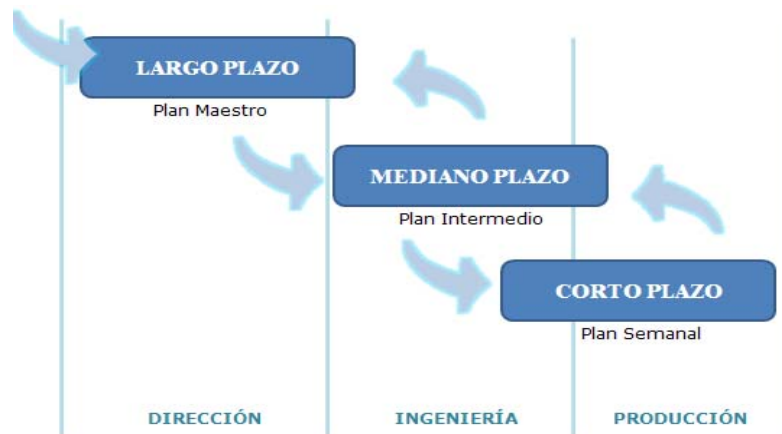


Figura 20. Estructura LAST PLANNER.¹⁷

3.2 NIVELES DE PLANIFICACIÓN.

La planificación estratégica permite a la empresa definir los elementos necesarios para hacer realidad la visión corporativa en el largo, mediano y corto plazo, estableciendo parámetros efectivos para su medición, control y permanencia en el tiempo. El proceso de planificación estratégica debe

¹⁷ Luis Fernando Botero Botero – Construcción sin pérdidas – Memorias Lean Camacol 2008.

asimilar lo que es la empresa hoy y lo que pretende ser mañana, y de esta manera generar directrices y estrategias que permitan el traslado de la empresa de la situación actual a la deseada.

3.2.1 Planificación a Largo Plazo.

La Administración y la planificación general del Proyecto incluye los procesos requeridos para asegurar que los elementos varios del proyecto están apropiadamente coordinados, se definen los plazos generales de la obra: inicio y finalización, así como de sus principales capítulos, movimientos de tierra, cimentaciones, estructura, acabados. El plan maestro genera el presupuesto y el programa del proyecto. Involucra hacer canjes entre los objetivos que compiten entre sí y alternativas de manera que se puedan cumplir o exceder las necesidades y expectativas de los partidos interesados.

- **Desarrollo del Plan del Proyecto** — es tomar los resultados de otros procesos de planeación y colocarlos en un solo documento consistente y coherente.
- **Ejecución del Plan del Proyecto** — es desarrollar el plan del proyecto al ejecutar las actividades incluidas.
- **Control de Cambios General** — es coordinar los cambios a través del proyecto.

3.2.2 Planificación Intermedia.

En la mayoría de proyectos de construcción el calendario de actividades realizado se extiende desde el comienzo hasta el final del proyecto, por esta razón no pueden ser demasiado detallados y precisos debido a falta de información real sobre la duración y entregas de los procesos. Por lo que ha sido necesario utilizar algún tipo de calendario a corto plazo con el

fin de coordinar y dirigir las diferentes tareas y actividades de cada proceso.

La planificación intermedia consiste en dividir el proyecto global en unos más pequeños, donde se establezca el cumplimiento de objetivos claros con duraciones entre 5 y 6 semanas según las características específicas del proyecto. Particularmente en esta etapa es definido el proceso constructivo y son identificados los recursos necesarios para la ejecución de las diferentes tareas y actividades.

- **Lookahead Planning.**

Lookahead Planning tiene como objetivo principal controlar el flujo de trabajo y se basa en inicialmente en un plan a partir del plan maestro que abarca lapsos de tiempo de cinco a seis semanas. Precede la planificación de compromisos generados por el plan de trabajo semanal. Una vez son determinadas y analizadas las restricciones, las actividades deben ser sometidas a un proceso de preparación, donde se eliminan las restricciones, lo que permite una realización de las exitosa de las actividades.

PROCESOS LOOKAHEAD	Definición del intervalo de Planificación. Definición de Actividades. Análisis de restricciones. Arrastrar el trabajo desde las unidades de producción superiores. Balancear la carga con la capacidad.
-------------------------------	---

FUNCIONES LOOKAHEAD	Formar la secuencia de flujo de trabajo y calcular su costo. Proponer el flujo de trabajo y su capacidad. Descomponer las actividades del programa maestro en paquetes pequeños. Desarrollar métodos detallados para la ejecución del trabajo. Mantener un Inventario de trabajo ejecutable. Poner al día y revisar los programas del nivel superior.
--------------------------------	--

Figura 21. Sistema Lookahead Planning.

A partir de la planificación Lookahead se obtienen las restricciones de un conjunto de tareas que establecen si éstas pueden ser o no realizadas en un intervalo de tiempo dado, con lo cual es posible revisar y estudiar dichas restricciones para redimir las actividades que las presenten, permitiendo así que sean realizadas según lo planeado.

	RECURSOS				
	Diseños	Materiales	Mano de Obra	Equipos	Pre-requisitos
Actividad 1	OK	OK	OK	OK	OK
Actividad 2	OK	OK	NO	OK	OK
Actividad 3	NO	NO	OK	OK	OK
Actividad 4	OK	OK	NO	OK	OK

DEBE

PUEDE

3.2.3 Planificación a Corto Plazo (Semanal).

La elaboración de planes semanales se basa fundamentalmente en la planificación intermedia y tiene como objetivo básico la eliminación de la incertidumbre explorando con más detalle las tareas, determinando la viabilidad de la ejecución de las actividades, reduciendo al mínimo los imprevistos en un tiempo de una semana.

Las tareas pueden ser realizadas una vez que las restricciones (cuellos de botella) han sido analizadas y debidamente eliminadas. La persona o equipo de trabajo que se encarga de éstas es denominada “Último Planificador” y tiene como función desarrollar correctamente las tareas por medio de un continuo proceso de aprendizaje y acción correctiva.

- **Porcentaje de Asignaciones Completadas (P.A.C.).**

El PAC (*porcentaje de actividades completadas*) es un indicador que mide la planificación y el rendimiento de la productividad de la unidad de producción. Es representada como una relación de las misiones completadas dividido por las sesiones previstas. Un buen rendimiento es superior al 80% y un pobre es inferior a un 60%.

Igual de significativo como determinar el porcentaje de actividades completadas, también lo es establecer las razones por las cuales las asignaciones de trabajo no fueron cumplidas satisfactoriamente. Esto proporcionará información importante y necesaria para la mejora del PAC, facilitando así una más eficaz realización del proyecto.

Esta medida es un paso para aprender de los errores y aplicar mejoras, se expresa por el porcentaje de las actividades previstas que son completadas totalmente, incrementando la calidad del plan de trabajo semanal que combinado con el sistema de planificación *Lookahead* genera un control integral del flujo.

Algunas de las características que participan en el correcto cumplimiento del plan de trabajo semanal son los siguientes:

- Selección de la secuencia de trabajo de acuerdo con el plan maestro establecido, las estrategias de ejecución.
- Selección adecuada de la cantidad de trabajo, teniendo en cuenta la capacidad de trabajo de las cuadrillas que son asignadas para llevar a cabo las tareas.
- La definición exacta de la cantidad de trabajo por hacer y que se puede hacer, lo que significa que todos los requisitos ya se han cumplido y que todos los recursos están disponibles.

- **Reuniones Semanales.**

“*Last Planner*” propone hacer dos reuniones semanales para que tenga éxito la herramienta. La primera reunión debe realizarse aproximadamente a mitad de la semana y es necesario que asistan todos los responsables de ejecutar las actividades programadas y las que se van a programar en la siguiente semana, también deben de estar presente los líderes (Director de Obra e Ingenieros Residentes).

Esta reunión busca calificar el PAC de la semana pasada, discutiendo las causas de las actividades que no fueron cumplidas satisfactoriamente. Además se deben revisar las actividades que están siendo ejecutadas en esa semana y aprobarlas, plantear soluciones o planes de contingencia según sea el caso. También se debe realizar la planificación de la semana siguiente según el plan semanal teniendo en cuenta las opiniones tanto de los líderes como de las personas encargadas de ejecutarlas, y revisar que se cuente con los insumos necesarios al inicio de esa semana.

La segunda reunión se hace el último día de la semana, el objetivo fundamental es hacer los últimos ajustes a las actividades programadas de la próxima semana con la información de último minuto de la obra.

3.3 METODOLOGÍA DE IMPLEMENTACIÓN SISTEMA LAST PLANNER.

3.3.1 Planificación a largo Plazo.

Las metodologías para planeación de proyectos a largo plazo hacen uso de una combinación de herramientas “duras” tales como software de administración de proyectos y herramientas “blandas” tales como comités facilitadores e iniciadores, con lo cual se debe lograr el plan del proyecto, el cual es un documento formal, aprobado, usado para administrar y controlar la ejecución del proyecto.

Según PMI BOK¹⁸ hay muchas maneras para organizar y presentar el plan del proyecto, pero comúnmente incluye todos los siguientes:

- Charter del proyecto.
- Una descripción de la aproximación o estrategia administrativa del proyecto (un resumen de los planes individuales de las otras áreas de conocimiento).
- Un documento de alcance, que incluye tanto los productos del proyecto como los objetivos de este.
- Una estructura de desglose de trabajo (WBS) hasta el nivel en el que el control será ejecutado.
- Estimativos de costos, fechas programadas de comienzo, y la asignación de responsabilidades hasta el nivel en el que se ejecutará el control al WBS.
- Líneas de base para la medición de la ejecución del cronograma y costos.
- Hitos principales y las fechas metas para estos.
- Personal clave o requerido.
- Riesgos claves, incluyendo restricciones y suposiciones, y las respuestas planeadas para cada una de ellas.

¹⁸ PMI BOK Guide 2000, pág. 56.

- Planes administrativos subsidiarios, incluyendo planes administrativos y de alcance, plan de administración del cronograma, etc.
- Decisiones pendientes y otros temas abiertos.
- Otras salidas de la planeación del proyecto deben ser incluidas en el plan formal basado en las necesidades individuales de cada proyecto. Por ejemplo, el plan de proyecto para un proyecto grande generalmente incluye un organigrama del proyecto.

3.3.2 Planificación Intermedia (Lookahead Planning).

Protege contra las incertidumbres Programación de recursos con medio ciclo de adquisición.

- Vínculo entre la planificación de largo plazo y la de corto plazo (operacional)
- Horizonte de tiempo de 4 a 6 semanas, siendo normalmente móvil (*look-ahead planning*)
- Análisis de restricciones

Protege contra las incertidumbres Programación de recursos con medio ciclo de adquisición.

Este formato se analiza las actividades a realizar, considerando las potenciales restricciones que deben retirarse para convertirlas en inventario de actividades ejecutables

TABULACIÓN DE CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO											
SEMANA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	TOTAL ACUMULADO
ACTIVIDADES PROGRAMADAS											
ACTIVIDADES COMPLETAS											
PAC											
PAC ACUMULADO											
CAUSAS DE NO CUMPLIMIENTO											
Proveedor											
Herramienta y Equipos											
Contratista											
Mal Tiempo											
Prerequisito											
Diseños											
Otros											

Figura 25. Formato para tabulación de las Causas de No cumplimiento de las actividades planificadas.

4.1 BENCHMARKING: Desarrollo de un sistema de Indicadores de Evaluación Comparativa en la construcción utilizando un enfoque de aprendizaje.

Con el objetivo de cumplir los requisitos establecidos por la aplicación de la calidad y la productividad en el sector de la construcción, las empresas están prestando mayor atención y la prestación de una mayor inversión en el sistema para medir el desempeño, especialmente en comparación con algunas medidas entre las empresas. Sobre la base de ese contexto, se presenta una iniciativa en curso que tiene por objeto desarrollar y aplicar un sistema de indicadores para la evaluación comparativa en la industria de la construcción, buscando la creación de aprendizaje organizacional y el conocimiento.

El sistema se basa en el establecimiento de indicadores para la evaluación comparativa, los efectos del enfoque de aprendizaje durante su proceso de desarrollo, así como los resultados preliminares sobre los valores la referencia de los indicadores y las mejores prácticas identificadas.

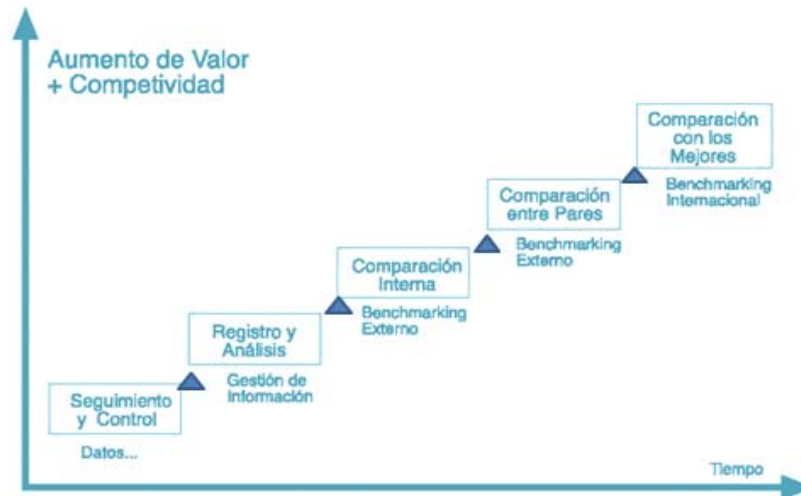


Figura 26. Metodología del Benchmarking.

Los principales problemas que impiden a las empresas incorporar la medición sistemática de los indicadores de rendimiento para su proceso de toma de decisiones son a la vez las barreras estructurales, vinculados al proyecto y la forma de aplicar las medidas, como barreras a la conducta, en relación con la toma de decisiones, el comportamiento de los administradores y la cultura de la organización¹⁹. A partir de varios estudios, fue identificada la necesidad de comprender y cambiar el comportamiento de los administradores en la toma de las decisiones, con el fin de facilitar la utilización de indicadores en el proceso de organización. Una de las conclusiones de este estudio es que un eficaz sistema de medición rendimiento no está relacionado con la definición de

¹⁹ LANTELME et al., 2001

las medidas correctas, pero conduce a los cambios más profundos y también a la adopción de métodos de aprendizaje en la organización.

Las técnicas de Referenciación o de Benchmarking sirven para preguntarse: ¿Qué tan bueno es nuestro desempeño con respecto al de nuestros competidores en los aspectos más importantes para el cliente?.

Primero se analiza cuales son los aspectos importantes o que sentimos que no son muy competitivos, después se analiza cómo se debe comparar con los de los competidores y si es necesario se aplican las mejoras, De ésta manera, el Benchmarking asegura que la empresa está en un nivel igual o superior al de sus mejores competidores en el mercado.

Sobre la base de identificar las dificultades, es necesario utilizar diferentes mecanismos para facilitar la ruptura de algunos de estos problemas estructurales, con la incorporación de la medición sistemática de los indicadores en la toma de decisiones. Uno de los mecanismos identificados es el proceso de evaluación comparativa²⁰.

La medición de resultados permite la realización del Benchmarking entre las empresas que han adoptado el Sistema de Producción Lean. La medición del rendimiento y la evaluación comparativa de resultados tiene por objeto contribuir a un cambio de cultura en los procesos y la mejora del rendimiento y la productividad²¹. La evaluación comparativa se entiende como un proceso continuo y sistemático de la investigación sobre el desempeño de los procesos o productos mediante la comparación con los mejores resultados identificados.

La obtención de resultados satisfactorios en la aplicación del sistema Benchmarking, depende principalmente del desarrollo e implantación de un sistema de indicadores que faciliten en análisis de datos y la evaluación comparativa entre las empresas, lo cual proporciona

²⁰ Garvin, 1993 Dibella et al, 1996; DREW, 1997.

²¹ Alarcón et al. (2001)

directrices para medir el rendimiento, establecer nuevos objetivos y metas.

El conjunto de los indicadores para la evaluación comparativa debe ser seleccionado a partir de la experiencia internacional y estudios realizados anteriormente, apoyados en una investigación preliminar de las empresas. Cada indicador debe ser desarrollado previamente definiendo y estandarizando los formatos y procesos de recolección de datos, con el fin de que los resultados sean representativos y comparables aunque sean recogidos en diferentes tipos de mercado.

Es importante identificar diferentes criterios en la selección de indicadores para la evaluación comparativa:

- Indicadores utilizados previamente en las empresas.
- Indicadores con posibilidad de comparación tanto interna como externa.
- Indicadores genéricos que permitan su aplicación en diferentes contextos y empresas.
- Indicadores de procesos y resultados.

El establecimiento del sistema Benchmarking incorpora a las empresas el aprendizaje sobre el mejoramiento de los procesos, además crea una cultura de medición del desempeño e intercambio de costumbres, lo cual ofrece la posibilidad de pensar en el futuro, aprendiendo de los demás mediante el intercambio de conocimientos, ideas y prácticas, todo el fin de mejorar el rendimiento de la organización.

4.1.1 Indicadores Cuantitativos de Desempeño²².

²² LUIS FERNANDO BOTERO – Benchmarking Colombia – Universidad EAFIT.

Se definen a través de resultados sobre variables cuantitativas en los procesos de construcción (por ejemplo \$/und).

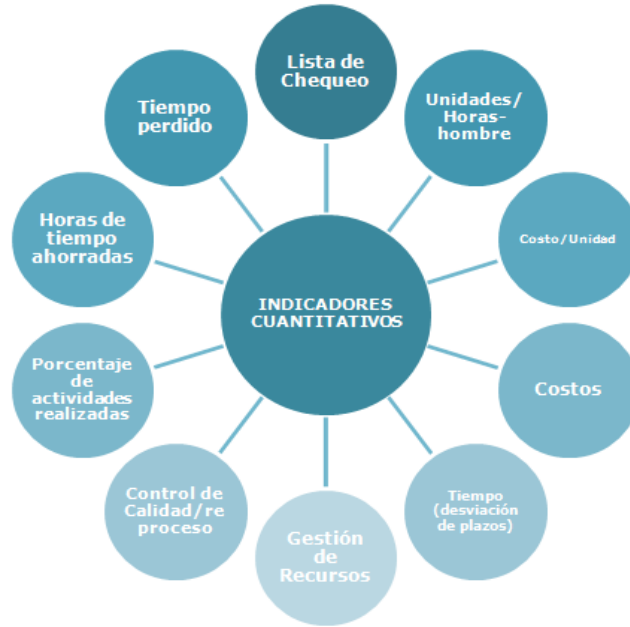
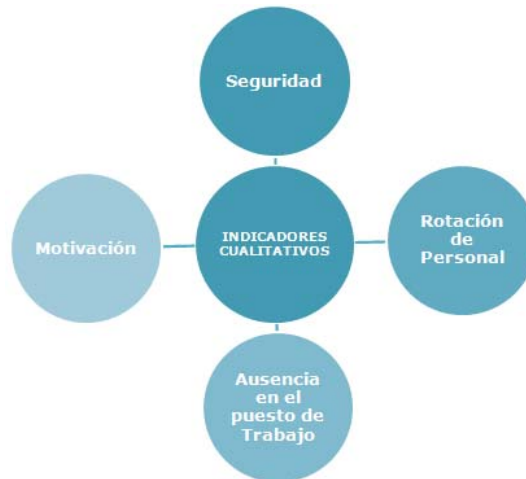


Figura 27. Indicadores Cuantitativos de Desempeño.

4.1.2 Indicadores Cualitativos de Desempeño²³.

Se estiman por medidas cualitativas tales como el comportamiento del empleado en sus labores.



²³ LUIS FERNANDO BOTERO – Benchmarking Colombia – Universidad EAFIT.

Figura 28. Indicadores Cualitativos de Desempeño.

4.1.3 Metodología de Implementación BenchMarking.

El actual sistema de indicadores para la evaluación comparativa de la industria de la construcción está compuesto por 6 categorías: producción, clientes, ventas, proveedores, la calidad y el personal. En este sistema Se incluyeron indicadores relacionados con: proveedores, satisfacción del cliente y sistemas de gestión de calidad, además algunos indicadores como el costo, el tiempo y la seguridad, pueden ser potencialmente utilizados para llevar a cabo la evaluación comparativa internacional.

	INDICADOR	FORMULA DE CALCULO
PRODUCCIÓN	Desvío de Costos de Obra	$(\text{Costo real} - \text{Costo estimado}) / \text{Costo estimado} \times 100$
	Desvío de Plazo de Obra	$(\text{Fecha límite real} - \text{Fecha límite}) / \text{Plazo} \times 100$
	Porcentaje de Trabajo Finalizado	$(\text{Número de trabajo } 100\% \text{ finalizado} / \text{Número de trabajo previstos}) \times 100$
	Tasa de Frecuencia de Accidentes	Número de accidentes en el mes / número de horas trabajadas por todos los empleados de la empresa en el mes
CLIENTE	Índice de Satisfacción del Cliente Usuario	Suma de un conjunto de ítems con notas de 0 a 10 / Número total de ítems
	Índice de Satisfacción del Cliente Contratante	Suma de un conjunto de ítems con notas de 0 a 10 / Número total de ítems
VENTAS	Velocidad de Ventas	$(\text{Número de Unidades Vendidas} / \text{Número de Unidades para la Venta}) \times 100$
	Índice de Participación	$(\text{Núm. obras} / \text{Número de Propuestas}) \times 100$ $(\text{Valor de los contratos} / \text{Valor total presupuestada}) \times 100$
PROVEEDORES	Evaluación de Proveedores de Servicios	Suma de un conjunto de ítems con notas de 0 a 10 / Número total de ítems
	Evaluación de Proveedores de Materiales	Suma de un conjunto de ítems con notas de 0 a 10 / Número total de ítems
	Evaluación de Proveedores de Proyectos	Suma de un conjunto de ítems con notas de 0 a 10 / Número total de ítems
CALIDAD	Número de Inconformidades en las Auditorías	NNCAI = Número de inconformidades encontradas en las auditorías Internas NNCAE = Número de inconformidades encontradas en las Auditorías Externas
	Índice de incumplimiento en la Entrega	$(\text{Número de incumplimientos} / \text{Número de controles}) \times 100$
PERSONAL	Índice de Satisfacción del Cliente Interno en la Obra	Suma de un conjunto de ítems con notas de 0 a 10 / Número total de ítems
	Índice de Satisfacción del Cliente Interno de la Sede	Suma de un conjunto de ítems con notas de 0 a 10 / Número total de ítems
	Índice de Capacitación	$(\text{Número total de horas de formación} / \text{Promedio Efectivo})$
	Porcentaje de personal capacitado	$(\text{Número de empleados capacitados} / \text{Promedio Efectivo}) \times 100$

Figura 29. Indicadores de Benchmarking.

4.1.4 5 Pasos para un Exitoso Benchmarking.

- **Planificar:** Establecer claramente qué necesita ser mejorado asegurar que es importante para uno y para sus clientes, determinar la metodología de recolección de información a ser usada (incluyendo cualquier ID).

- **Análisis:** Recolectar la información y determinar la actual brecha de desempeño con respecto a un competidor, la industria o internamente- y identificar las razones por la diferencia.

- **Acción:** Desarrollar e implementar planes de mejoramiento y metas de desempeño.

- **Revisión:** Comparar el desempeño con las metas de desempeño.

- **Repetición:** Repetir todo el proceso. El benchmarking necesita convertirse en un hábito, si uno se ha tomado en serio el mejorar su desempeño.

5.1 GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LAS EMPRESAS DE CONSTRUCCIÓN.

El intercambio de conocimientos debería ser un objetivo constante de cada individuo para el bien común a todos los de la sociedad y en las organizaciones con el fin de buscar el desarrollo, la mejora y continua, por lo tanto, ventaja competitiva.

Todo el proceso que implica la creación, adquisición, captura, distribución y uso de El conocimiento puede definirse como un proceso de la gestión del conocimiento²⁴; y es este enfoque de mejora continua en todos los aspectos, tanto la organización, como los casos de las personas y equipos, que una empresa debe ser consciente de cuando llevar a la práctica la gestión de conocimiento.

La sistematización de la corriente de la gestión del conocimiento y el desarrollo de un entorno de aprendizaje continuo proporciona una mayor

²⁴ SCARBOROUGH; SWAN; PRESTON, 1999.

calidad en todos los sectores de una organización. Estrategias de organización de socialización pueden, entre otras cosas, aumentar la transferencia de conocimientos, fomentando la creación de un entorno de aprendizaje continuo. Se espera como resultado una mejor comprensión de los procesos de acumulación y el intercambio de conocimiento tácito y, por tanto, la creación y el mantenimiento del capital intelectual de empresas en la industria.

5.1.1 El Proceso de Crear y Compartir el Conocimiento Tácito.

El proceso de creación, adquisición, captura, el intercambio y la utilización de los conocimientos y, sobre todo, el conocimiento tácito basado en la filosofía lean, depende de las experiencias individuales de cada persona, considera el conocimiento es acumulativo y está en constante desarrollo con lo cual es necesario crear un sistema de aprendizaje; se aprende tanto de los errores y éxitos a través de la observación, la acción y la evaluación de los procesos y proyectos de la organización.

Para tener éxito en la tarea de intercambio de conocimientos, las organizaciones necesitan cambiar su cultura organizacional. Y en el sector de la construcción, esto es todavía una realidad más notable que en otros sectores, en comparación con el de la industria de fabricación.

5.1.2 Sistemas Adaptativos.

La teoría de los sistemas adaptativos se ha utilizado para estudiar fenómenos como el cambio y la transformación la innovación organizativa, las prácticas en recursos humanos y estrategia, retos que plantea la implantación de la filosofía lean en las empresas constructoras.

Los modelos de sistemas adaptativos se centran en la interacción entre un sistema y su medio ambiente y su co-evolución²⁵.

- **Mecanismos Internos.**

- **Agentes:** Dependiendo de la escala de análisis, un agente puede ser considerado como un individuo, un equipo de proyecto, un departamento o toda una organización. Los funcionarios tienen diversos grados para comunicarse con otros agentes. Estas relaciones entre los agentes y también los agentes con el medio ambiente alrededor de ellos dependen de esquemas formados en la mente de cada uno.

- **Auto-organización:** la conducta en un SA es impulsado no sólo por un agente, sino por la acción de múltiples actores dentro del propio sistema. En la organización están surgiendo estructuras, normas, procedimientos o propiedades inesperadas en un sistema auto organizado y auto controlado.

- **Ambiente Entorno.**

El medio ambiente es un agente externo del sistema y, funcionalmente, depende de la escala de análisis elegido. Cualquiera que sea la escala de análisis, "el medio ambiente puede caracterizarse como "Dinámico" y "hostil"²⁶.

- **Dinamismo:** La única cosa constante en el medio ambiente es que está cambiando. Los cambios en un sistema pueden causar cambios en los demás y, posiblemente, cambios en cualquier entorno.

²⁵ Dooley; RUNGTUSANATHAM, 2001, p. 352.

²⁶ CHOI; Dooley; RUNGTUSANATHAM, 2001, p. 355.

- **Hostilidad:** Un medio ambiente tiene características de cambio constante y la hostilidad. Los miembros de un sistema complejo como la construcción deben explorar los conocimientos existentes descubrir las nuevas habilidades a fin de superar las incertidumbres impuestas por el medio ambiente y garantizar la supervivencia.

- **Co-Evolución**

La teoría reconoce la complejidad de la SA como los sistemas que reaccionan con el medio ambiente y los transforman. Los sistemas y el entorno interactúan unos con otros y crear nuevas realidades y dinámicas.

- **El equilibrio y cambio de estado:** en circunstancias normales, un sistema complejo como los del ámbito de la construcción sigue siendo en un estado de equilibrio relativo. Sin embargo, el sistema es sensible a los cambios que el entorno les plantea.
- **Los cambios no lineales:** Si un sistema se comporta de una manera no lineal, muestra una respuesta cambios no lineales. La correlación directa entre la causa y el efecto no está garantizada. El comportamiento de un sistema complejo como el de la construcción no puede ser traducido en una superficie plana, que no es capaz de ser proporcionados por los modelos paramétricos, por ejemplo, los modelos estadísticos aunque son de gran validez para tener parámetros de medición.
- **El futuro no al azar:** la incapacidad para determinar el futuro comportamiento de un sistema de complejo en una manera que no significa exactamente que el futuro es incierto. No es suficiente decir que las actividades correspondientes a los procesos de los proyectos de construcción son inciertas, es necesario dejar claridad en que la

planeación y planificación hacer mejorar los sistemas complejos que rigen la construcción y su entorno.

Las empresas intentan perfeccionarse y obtener ventajas competitivas, por eso proliferan los programas de mejora continua. Desafortunadamente, los programas que no dan ningún resultado superan a los exitosos, y el porcentaje de mejoras sigue a nivel muy bajo. Eso se debe a que la mayoría de las empresas no han captado una verdad básica. Para que las personas y las empresas puedan mejorar, antes tienen que aprender. Y para hacerlo deben mirar más allá de la retórica, y centrarse en los fundamentos.

Para que las empresas puedan convertirse en una organización que aprende y que maximiza el valor de sus proyectos debe resolver tres cuestiones fundamentales²⁷ :

- Definición de la organización que aprende bien fundamentada y de fácil aplicación.
- Establecer unas orientaciones operativas claras para la práctica.
- Mejores sistemas de evaluación para estimar el nivel y ritmo de aprendizaje de la empresa.

Con estas premisas estableceremos varios formatos y metodologías resumidos que soportan los principios mencionados extensamente en los capítulos anteriores.

5.2 PLANEACIÓN ESTRATEGICA FUNCIONAL Y OPERACIONAL COMO MARCO DE REFERENCIA PARA EL ANÁLISIS DE PÉRDIDAS E IMPLEMENTACIÓN LEAN.

²⁷ **Harvard Business Review** - Gestión Del Conocimiento, David Garvin Pag 51.

El análisis de la información correspondiente a los procesos constructivos debe estar regido bajo el marco de la planeación estratégica de la organización, determinada por la metodología de planificación en cascada, cada una de las áreas de la organización involucradas en el proyecto de construcción (Diseño, recursos humanos, calidad, planeación, compras, construcción) debe tener su propia planeación estratégica.

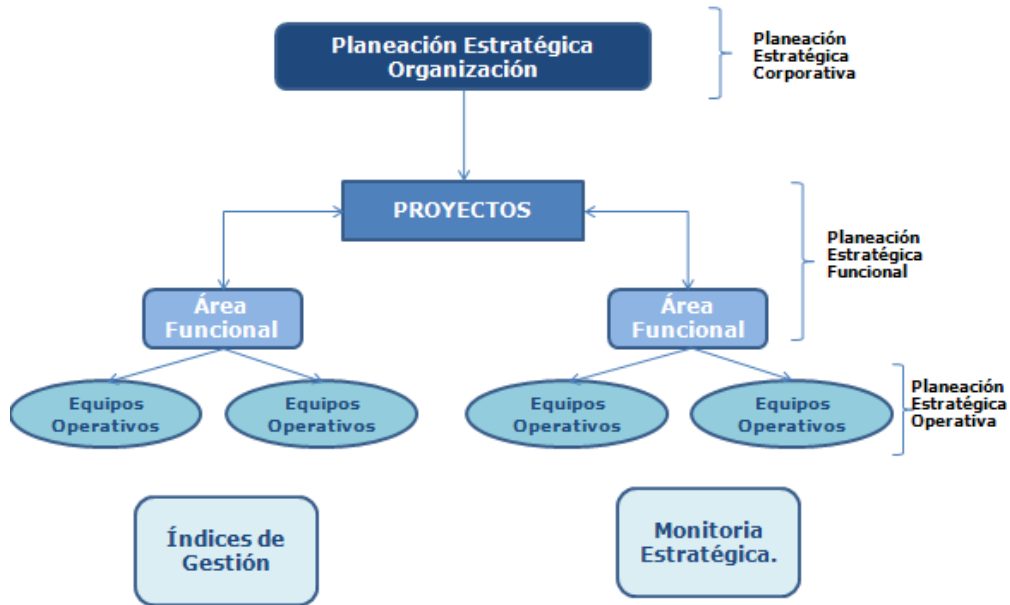


Figura 30. Planeación Estratégica.

Cada unidad operacional debe:

- Realizar un diagnóstico estratégico.
- Definir la misión clara y explícitamente
- Establecer objetivos
- Realizar un plan de acción completo:
 - ¿Qué debe hacerse? → Tareas-Acciones
 - ¿Cuándo debe hacerse? → Tiempo

- ¿Cómo debe hacerse? → Estrategia
- ¿Quién debe hacerlo? → Responsables
- ¿Con qué recursos? → Recursos, Presupuesto
- ¿Qué resultados se esperan? → Metas
- ¿Cómo medir los resultados? → Índices de gestión

La planeación debe tener un alcance detallado y estar enmarcado dentro del ciclo de vida del proyecto, además debe tenerse en cuenta los niveles de planificación cronológicamente y de acuerdo al análisis de la Planificación de LARGO PLAZO (Plan Maestro) - MEDIANO PLAZO (Análisis de Restricciones)-CORTO PLAZO (Planificación Semanal - Last Planner).

El plan operativo permitirá elaborar los cronogramas, establecer los responsables de cada uno de los niveles de la organización, además definir el presupuesto estratégico; estos planes estratégicos deben cuantificarse y dimensionarse en el tiempo, con el fin de medir su correcta ejecución²⁸.

5.3 DIAGNÓSTICO DE IMPLEMENTACIÓN DE LOS PRINCIPIOS DE LEAN CONSTRUCTION.

El diagnóstico para la implementación de los principios de *Lean Construcción* se ha elaborado con base en los once principios propuestos por Koskela (1992), planteando diferentes tipos de preguntas que evalúen individualmente cada uno de los principios de manera que se evidencien las acciones, prácticas y comportamientos favorables y desfavorables que

²⁸SERNA GOMEZ HUMBERTO - GERENCIA ESTRATÉGICA- 3RA EDICIÓN 2006-CAP 13.

realiza la empresa, obteniendo así un indicador general según las solicitudes de la filosofía Lean Construcción.

5.3.1 Metodología para Realización de Diagnóstico.

Para efectos de simplificar el diagnostico, los principios son separados en diferentes elementos claves, que deben ser evaluados según su aplicación como SI, NO, NO APLICA. En el caso que el elemento de evaluación No Aplique, este no es tenido en cuenta en el resultado final.

Para el indicador de cada principio de la Filosofía *Lean Construction* se debe aplicar la fórmula:

$$IPI = (PO/PP) \times 100$$

IPI = Indicador para el principio.

PO = Puntos Obtenidos.

PP = Puntos Posibles.

El indicador global de la Construcción Lean se obtiene a partir de la media ponderada de los puntos obtenidos por el indicador de principio.²⁹

$$ICE = \frac{\sum IPI \times p}{\sum p}$$

ITEMS DE VERIFICACIÓN	SI	NO	NO APLICA
El trabajo tiene una disposición física para el almacenamiento de materiales destinados a minimizar la distancia entre los lugares de descarga y sus lugares de uso.			
Reducción de las actividades que no tienen valor añadido (pérdidas). Hay pruebas de la reducción de las actividades de manejo, inspección, espera			

²⁹ DIAGNÓSTICO PARA IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA -- Juliana Kurek; Adalberto Pandolfo; Luciana Londero Brandli; Luciana Marcondes Pandolfo; José Waldomiro Jiménez Rojas.

y transporte (uso de un dispositivo para mejorar el flujo del proceso).			
IP 1= (PO/PP) X 100 =			
Aumentar el valor del producto final a través de un examen de los requisitos del cliente.			
Son identificadas las necesidades internas y externas del cliente			
El proceso se asigna determinando los diferentes clientes y sus necesidades			
¿Existe una manera sistemática para obtener los requerimientos del cliente? (investigación de mercado y evaluaciones post-ocupación).			
No hay comentarios a los diseñadores en las reuniones donde se discutió los requisitos del cliente.			
Existe planificación de tareas y secuencia de actividades a fin de garantizar los requisitos del cliente.			
IP 2= (PO/PP) X 100 =			
Reducción de la Variabilidad.			
Existen procedimientos normalizados para la ejecución de las tareas.			
Existen procedimientos normalizados para la recogida de materiales.			
Se realiza control de la variabilidad en el desempeño de las tareas.			
IP 3= (PO/PP) X 100 =			
Reducción del tiempo de ciclo.			
Hay buenas condiciones de trabajo, seguridad y equipos adecuados para los trabajadores.			
División de los ciclos de producción (tales como los paquetes de trabajo, realización de una determinada longitud).			
Hay algunas pruebas para la eliminación de las actividades que hacen parte			

del flujo en un ciclo de producción.			
IP 4= (PO/PP) X 100 =			
Simplificar el proceso reduciendo el número de pasos y partes.			
<p>Se destacó el uso de pruebas de pre construcción, máquinas o equipos en el proceso de producción.</p> <p>Hay una planificación del proceso de producción.</p> <p>Hay una constante evaluación del proceso, tratando de mejorar (reuniones, debates para determinar la racionalización de las operaciones).</p> <p>¿Existe una organización con respecto al almacenamiento de equipos y materiales tendientes a eliminar o reducir la ocurrencia de movimiento y el desplazamiento?.</p>			
IP 5= (PO/PP) X 100 =			
Aumentar la flexibilidad de la producción.			
<p>El producto se personaliza en los últimos tiempos posibles.</p> <p>El proceso constructivo permite la flexibilidad del producto, de forma rápida sin gran costo para la producción.</p> <p>Los equipos de producción son múltiples.</p> <p>¿Existe un tamaño mínimo de lotes en el enfoque de su demanda?.</p>			
IP 6= (PO/PP) X 100 =			
Aumentar la transparencia del proceso.			
<p>La obra está libre de las obras de barreras visuales, tales como muros.</p> <p>En el jardín se utilizan dispositivos visuales, tales como carteles, señales y demarcación de áreas.</p> <p>Los empleados son indicadores de rendimiento que hacen que los atributos</p>			

del proceso sean visibles.	$ICE = \frac{\sum IP_i \times p}{\sum p}$			
Los empleados utilizan programas para mejorar la organización y la limpieza.				
IP 7= (PO/PP) X 100 =				
Enfocar el control al proceso completo.				
La empresa hace la asociación con los proveedores, para la reducción de actividades que no agregan valor en el momento de la entrega y la calidad de los materiales.				
Se realiza planificación y control de la producción con el fin de garantizar la prestación de trabajo en el tiempo.				
IP 8= (PO/PP) X 100 =				
Construir una mejora continua en el proceso.				
Hay ejemplos de pruebas e iniciativas en apoyo de mano de obra.				
Existen procedimientos para supervisar las medidas correctivas (las causas reales) y la eliminación de las medidas preventivas.				
La gestión es participativa, se aceptan sugerencias de los funcionarios.				
Se utiliza los indicadores de resultados para el seguimiento de los procesos.				
IP 9= (PO/PP) X 100 =				
Balancear el mejoramiento de los flujos y las conversiones.				
Se evidencian las mejoras en las características de las prácticas.				
¿Existe una estrategia de mejoramiento de obra?.				
IP 10= (PO/PP) X 100 =				
Benchmarking (Referenciación).				
La empresa conoce su propio proceso (es descrito y entendido).				
Se evidencia el aprendizaje de la práctica adoptada en otras empresas similares.				
Se adoptan las mejores prácticas según la realidad de la empresa.				
IP 11= (PO/PP) X 100 =				

Figura 31. Formato para Realización de Diagnóstico.

5.4 BALANCE SCORECARD APLICADA A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.

El Balanced ScoreCard **BSC** o Cuadro de Mando Integral (CMI) es un método para medir las actividades de la organización en términos de su planeación estratégica, es una herramienta que proporciona a los administradores una mirada amplia de la Organización.

En 1992 Robert Kaplan y David Norton escribieron en Harvard Business Review, titulado "The Balanced Scorecard - Measures that Drive Performance" (El Balanced Scorecard - Mediciones que llevan a Resultados), los autores sugieren cuatro perspectivas:

1. **Perspectiva financiera:** aunque las medidas financieras no deben ser las únicas, tampoco deben despreciarse. La información precisa y actualizada sobre el desempeño financiero siempre será una prioridad. A las medidas tradicionales financieras (como ganancias, crecimiento en las ventas), quizás se deba agregar otras relacionadas como riesgo y costo-beneficio.
2. **Perspectiva del cliente:** cómo ve el cliente a la organización, y qué debe hacer esta para mantenerlo como cliente. Si el cliente no está satisfecho, aún cuando las finanzas estén marchando bien, es un fuerte indicativo de problemas en el futuro.
3. **Perspectiva interna o de procesos de negocio:** cuales son los procesos internos que la organización debe mejorar para lograr sus objetivos. Debemos preguntarnos: "Para satisfacer a los accionistas y clientes, en que procesos de negocio debemos sobresalir?".
4. **Perspectiva de innovación y mejora:** cómo puede la organización seguir mejorando para crear valor en el futuro. Incluye

aspectos como entrenamiento de los empleados, cultura organizacional, etc.

La metodología de BSC viene ganando terreno en el mundo, datos de una consultoría de *Bain & Co*, indica que 50% de las empresas americanas en la lista de *Fortune 1000* adoptan BSC, en los países europeos la tasa está entre 40-45%, lo cual nos da luces del éxito de la implantación de esta metodología en las empresas en general. Con estos antecedentes se puede inferir que los principios de Lean construcción enmarcados en un sistema de medición y evaluación continua de gestión de procesos y proyectos como el Balance ScoreCard puede hacer mejorar significativamente los resultados generales de las empresas constructoras.

La implementación de BSC en las empresas trae beneficios como:

- Traducir la estrategia en objetivos y acciones concretas.
- Establecer los indicadores clave y alinearlos con los objetivos estratégicos a todos los niveles de la organización.
- Proporcionar a la gestión una visión sistematizada del desempeño operacional.
- Constituir un proceso de evaluación y utilización de la estrategia.
- Facilitar la comunicación de los objetivos estratégicos, focalizando los empleados en los logros.
- Permitir desarrollar una cultura de aprendizaje y mejora continua.
- Soportar la concesión de incentivos en función del rendimiento individual y la contribución a los resultados de la empresa.

Los pasos para la creación del BSC deben adaptarse a las necesidades de cada organización pero deben estar enmarcadas en su misión y estrategia.



Figura 32. Integración de los Indicadores de la Construcción BSC.

5.4.1 Metodología de Implementación BSC.

Inicialmente, para el despliegue del BSC en una empresa de construcción, se debe definir a sí misma como una obra de una unidad negocio.

Para Kaplan y Norton (1997) una unidad de negocios ideal para aplicar BSC debe tener las siguientes características³⁰:

- Ejecutar actividades a lo largo de toda la cadena de valores: innovación, operaciones, comercialización, distribución, ventas y servicios.
- Debe tener sus propios productos y clientes, la comercialización y los canales de distribución e instalaciones producción.
- Usted debe tener una estrategia bien definida.

Por lo tanto, una obra de construcción puede ser vista como una unidad de negocio, a los fines de BSC, con lo cual se generará unos resultados finales a la organización; esta premisa dice que una obra de construcción comienza y sólo existe en su diseño para satisfacer un objetivo, por ejemplo, un producto que genera beneficios para la empresa de construcción a través de la venta al consumidor final.

Así, desde la formación de la obra o la empresa hasta la entrega y la venta al cliente final, se consumen recursos, se realizan los diferentes procesos y se entrega un para por último, lograr un retorno a las empresas; No sólo debe importar el rendimiento financiero sobre el

³⁰ O Balanced Scorecard Aplicado À Indústria Da Construção - Juliana Kurek (1); Alcione Carvalho Becker (2) Marco Aurélio Stumpf González (3) Adalberto Pandolfo (4)

capital invertido, sino también la búsqueda de la continuidad de empresa, que se traduce en la conquista de las normas de calidad y los conocimientos técnicos adquiridos, lo que puede proporcionar una ventaja competitiva por delante de sus competidores.

Por esto, la contribución de cada proyecto o empresa debe ser tanto financiera, como el fortalecimiento y la confirmación de la calidad y la reputación de la empresa en el mercado. El trabajo, a que lo hagan, deben tener estrategias a seguir, que debería basarse en: las estrategias que empresa, fijada en su posición actual para un futuro mejor posición deseada, y la misión de compañía.

Las estrategias de la obra o la empresa definirá, a partir de la misma misión, es decir, su propósito inicial, la parte del mercado que se abordará, en las principales características del original y de la base de la planificación de las operaciones, a partir de la cual se establecerá, por ejemplo, los calendarios para todas las fases el trabajo. En un primer momento en el que las estrategias han sido desarrolladas por la planificación estratégica, basada en una serie de planes operativos, lo que conducirá a los indicadores de rendimiento.³¹

- **Mediciones.**

La medición de datos se requiere por dos motivos: para conducir el mejoramiento interno de la organización, y para comparar los datos obtenidos de los indicadores escogidos. Para las organizaciones directamente implicadas en la construcción el primer motivo es el principal, mientras que para el cliente final el segundo pasa a ser mucho más importante.

³¹ KAPLAN, R. S.; NORTON, D. *A estratégia em ação: Balanced Scorecard*, Editora Campus, Rio de Janeiro, 1997.

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, clasificaremos los indicadores de desempeño en tres categorías: Por resultados, por procesos y por variables. Estos indicadores deben cumplir los siguientes requisitos:

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

- **Simplicidad:** Deben ser de fácil aplicación, comprensión y medición.
- **Bajo costo:** El costo de la medición debe ser significativamente menor que el potencial ahorro.
- **Representatividad:** Debe dar información veraz y confiable del proceso evaluado.

Propuesta de indicadores para las cuatro perspectivas para las medidas de rendimiento BSC en una empresa de construcción:

PERSPECTIVAS	OBJETIVOS	INDICADORES	UNIDADES	METAS
FINANCIERO	Tasa de retorno sobre la Inversión	TRI	%	
CLIENTE / MERCADO	Satisfacción del Cliente	Índice de Satisfacción Proyecto	%	
		Índice de Satisfacción de Atención	%	
	Velocidad de Ventas	Unidades Vendidas	%	
		Tiempo Medio de Ventas	tiempo/ und	
Competitividad	Comparativo de velocidad de ventas, Calidad y costos	%		
PROCESOS INTERNOS	Productividad	Productividad Global de la obra	HH/Area real	
		Productividad por Proceso	HH/m2-m3..	
	Cumplimiento de Plazos	Porcentaje de Plazos Cumplidos	%	
	Reducción de Desperdicios	Cantidad de Desperdicios Generados	m3/m2	
	Calificación de Proveedores	Índice de Conformidad de Productos	%	
	Calificación de Contratistas	Índice de Conformidad de Procesos	%	
CRECIMIENTO Y APRENDIZAJE	Mejora Continua de Procesos	Índice de Cumplimiento de Metas	%	
	Capacitación de Trabajadores y Personal	Capacitaciones por Periodo	und	
	Efectividad de la Capacitación	Eficacia de la Capacitación	%	

Figura 33. Formato Implementación BSC.

5.5 VISUALIZACIÓN CAD 3D – 4D: HERRAMIENTA DE REALIDAD VIRTUAL PARA PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.

El rendimiento de los sistemas de producción en la construcción está fuertemente afectado por la variabilidad, la interdependencia y la incertidumbre. Los modelos de simulación son útiles para modelar el comportamiento de los sistemas de producción y comprender los efectos combinados de estos factores, integrando los modelos matemáticos y la interacción simbólica con el tiempo real de presentación gráfica de los

resultados, y busca apoyar y mejorar el proceso de adopción de decisiones.

Uno de los principales beneficios de la utilización de la simulación en un entorno 3D – 4D es que permite que el Administrador o Ingeniero tenga una visión general y realista de los efectos de los cambios en el sistema de producción local, así como espacios disponibles para la asignación materiales, instalaciones, vehículos y equipo en el entorno de trabajo, lo cual hace que sean más fáciles de optimizar las necesidades de espacio y evaluar la relación entre los elementos.



Figura 34. Desarrollo Tradicional de un Proyecto.

Para ayudar a la planificación, el sistema puede proporcionar un conjunto de recursos que van desde medición de las distancias hasta la verificación del cumplimiento de determinadas normas reguladoras. Esta actividad está asociada con los materiales, equipos y lugares, sirve para tener en cuenta el tiempo y los recursos necesarios para el transporte de material dentro de la obra, y el plan de rutas.

El objetivo principal es el desarrollo de una aplicación basada en el cálculo y la tecnología de realidad virtual para apoyar los proyectos de obras civiles, integrando todas las herramientas y programas informáticos

utilizados en el diseño y la gestión del proyecto. Por lo tanto, el calendario (incluyendo el consumo de recursos) puede ser importado de MS Project o Primavera, la topografía del terreno, así como la planta y proyección de la estructura de archivos tipo DWG (CAD).

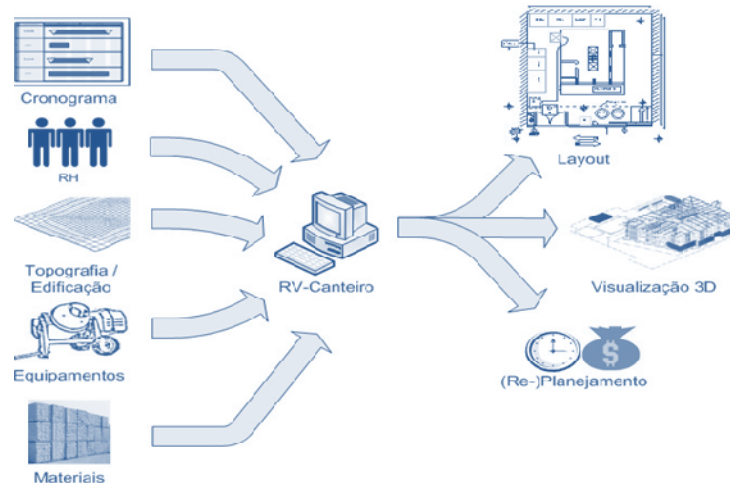


Figura 35. Tecnologías de Visualización CAD 3D.

La ayuda proporcionada por la visualización de entornos es uno de los mayores beneficios del sistema. Se permite la fácil visualización y oportunidad para la colaboración entre los miembros del equipo del proyecto, lo que permite la anticipación de interferencias y otros problemas que puedan surgir en el momento de realización de la obra. También permite que el Ingeniero sin ser muy experimentado pueda identificar los problemas potenciales, y así mejorar ejecución del proyecto.

El apoyo se realiza a través de mecanismos que faciliten la visualización de un espacio tridimensional de la estructura y sus elementos, una indicación de los temas que deben ser asignados y sus cantidades en cada momento, cálculo automático de áreas y volúmenes de materiales y equipo de construcción, así como distancias y la indicación de la área de servicio de grúas y de las interferencias, entre otros. Por ejemplo, el sistema debe permitir la visualización de la Torre Grúa en cualquier

momento, según el cronograma de obra, recepción y consumo de materiales, instalación y la eliminación de equipo.



Figura 36. Visualización del Terreno y sus inmediaciones.



Figura 37. Visión a nivel del suelo y el panel principal.

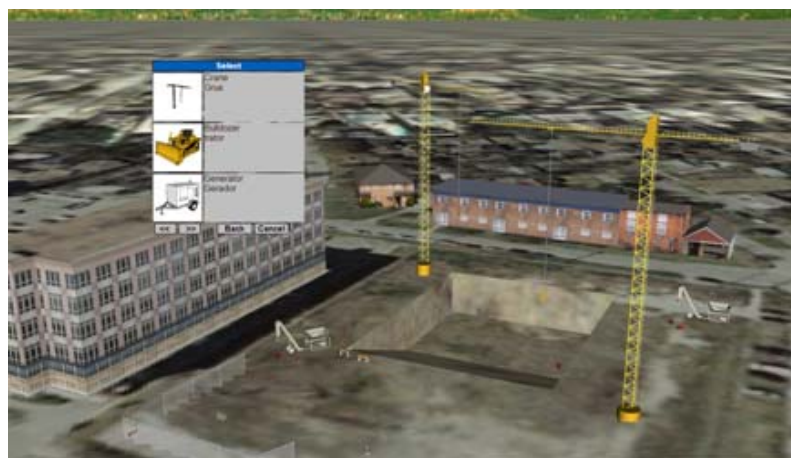


Figura 38. Visualización de excavación de terreno.

5.5.1 Herramientas de Visualización.

- **Revit Structure** ³².

Combina un modelo físico de la construcción plenamente asociada a un modelo analítico editable. El modelo físico se utiliza para la preparación y coordinación de producción, y el modelo analítico es utilizado por terceros para aplicaciones de análisis estructural. Cualquier tipo de cambio en el diseño durante el análisis, es actualizado automáticamente en el modelo físico, así como los documentos de construcción (Cantidades, rutas, calendario de programación, etc), ayudando a eliminar virtualmente los errores y la coordinación general mejora la calidad de la documentación. También ofrece herramientas que permite mostrar detalles importantes, en especial para el acero y el hormigón armado, detalles tales como símbolos de soldadura, pernos de anclaje, armaduras, refuerzo en una zona concreta, y mucho más. Además tiene una característica que posee opciones de ayuda para el análisis estructural, como evalúo de cargas, materiales y propiedades de sección, incluye los materiales de construcción como el acero, hormigón fundido in-situ, elementos prefabricados de hormigón, albañilería, y madera.

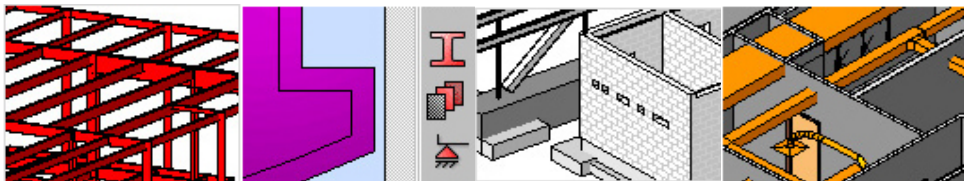


Figura 39. Software Revit Structure.

- **Revit MEP** ³³.

³² <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=123112&id=8447072>

³³ <http://latinoamerica.autodesk.com/adsk/servlet/index?siteID=7411870&id=10885424>

Es la solución del diseño y documentación del modelado de información de edificios para ingeniería MEP (Mecánica, eléctrica e hidráulica). Identifica rápidamente áreas de pérdida de alta presión en el sistema y realiza cálculos de pérdidas de tamaño y presión de acuerdo con métodos y especificaciones estándares en la industria, crea esquemas eléctricos a color para cargas de potencias, iluminación por área. Permite elegir entre múltiples opciones de rutas para determinar la mejor ruta para el diseño, utiliza circuitos para hacer seguimiento a las cargas, controlar dispositivos adjuntos, y verificar la longitud de los cables, y más.

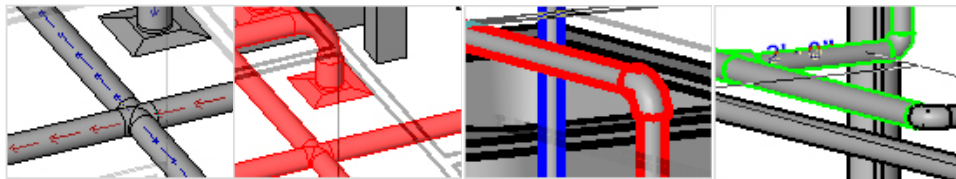


Figura 40. Software Revit MEP.

5.5.2 Limitaciones de la Representación en 2D y el Compromiso de CAD en 3D – 4D como Solución.

Con el tiempo se ha llevado a cabo una búsqueda con el fin de proporcionar a los Ingenieros una mayor comprensión sobre la realidad en el desarrollo de proyectos de construcción, utilizando tecnología de CAD 3D, en comparación con CAD 2D. Varias encuestas muestran las ventajas de CAD en 3D en el desarrollo de los proyectos. Brito (2001) afirma que el uso de diseño en 3D tiende a reducir los errores y obstáculos del proyecto. Zabell y Fischer (1999) evidencian los beneficios de CAD 3D, mejorando la comunicación entre los implicados y la reduciendo la revisión y actividades que no añaden valor al proyecto.

La industria del software también ha sido movilizada para justificar y convencer al mercado de ventajas de la utilización de CAD en 3D. En

consecuencia, los proveedores de CAD han divulgado documentos que aportan datos para persuadir a los usuarios experimentar la tecnología 3D en su trabajo.

CARACTERÍSTICA	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO
AMBIGÜEDAD	La misma representación puede ser interpretado de más de una manera, incluso si se añade una nota, símbolos o diagramas, en general algún punto en el contexto del diseño pueden no ser claramente neuribido	La representación de las vigas que se encuentran en la misma planta pero en diferentes niveles, siempre que tales diferencias no estén debidamente representadas en los cortes, pueden pasar desapercibidas.
SIMBOLISMO	El objeto está representado por un símbolo cuyas dimensiones y formas no lo relacionan con el objeto real que representa. Ellos podrán estar acompañados por información pero también es ambiguo.	La indicación de los puntos de electricidad (interruptor, etc.) utiliza símbolos fuera de la proporción real de objetos que representan, lo que induce a hacer caso omiso de los vínculos espacio real. En el caso de la información adicional, es posible ver como representaciones de notas y otros detalles que identifican diferentes alturas de estos puntos pueden ser muy ambiguos.
OMISIÓN	En un intento de hacer el diseño más conciso, se omite información que se considera "evidente" para el especialista que está proyectando. Sin embargo, para analizar otras implicaciones, la información en general es desconocida y no se toma en consideración.	No representar una pieza de metal que establece el marco flexible de agua caliente y el mezclador de la ducha de agua fría. Para el diseñador de la hidráulica, es evidente que conjunto no estaría en el aire. Sin embargo, la interferencia con la estructura de la pared drywall y la existencia de un eje con tapa extraíble, sacudió la instalación en el interior del árbol, la hora de considerar la obra de establecer mezcladores.
GENERALIZACIÓN	A partir de una directriz, se representan en general todas y cualquier situación con las mismas dimensiones y soluciones. Este procedimiento común induce al ingeniero y otros empleados a considerar incorrectamente la situación dada	En el uso de una estructura de pared divisoria Drywall con dos placas de yeso, uno de los problemas identificados en una situación dada, no fue posible colocar una de las partes porque se encerraba un árbol.
SIMPLIFICACIÓN	El diseñador simplifica una determinada representación por cambiar el volumen real el objeto mostrado. Este problema es similar al simbolismo, sin embargo, a diferencia de este, la simplificación de alguna forma custodia las relaciones de dimensión al modelo real, pero no los representa a todos de forma explícita.	El diseñador hidráulico a menudo representa como una simple línea o curva las tuberías de agua caliente y fría. Estos oleoductos, en general, tienen diámetros de 40 o 50 mm, casi la mitad del tamaño de tubería de alcantarillado (100 mm). En los espacios muy limitado, ese tipo de representación siempre se compromete en el análisis real de las conexiones entre las diversas partes.
VISTA PARCIAL	La representación 2D, en la planta o altitud, es una parte de un todo. Es decir, una planta es una parte de la información espacial con el fin de un tema en particular y para una parte del espacio limitado. Cuando la solución es simple por el diseño, por ejemplo, cuando todas las vigas se encuentran al mismo nivel, en general la visión 2D parte de los proyectos no causen problemas. Pero cuando las situaciones son complejas, por ejemplo, cuando existen distintos niveles o formas de objetos, es necesario disponer de varios cortes y / o detalles. Esta característica es, en general, la asociación de dos o más de características anteriores.	En el diseño de un proyecto determinado, se indica la altura de en las escaleras. El vigas de la escalera no son siempre los mismos nivel de la superficie tipo. Para realizar el proceso se debe entender el conjunto y así evitar mayor recubrimiento en la viga. Este ejemplo es una asociación de la ambigüedad de información proporcionada por la estructura y generalización de las alturas de los puntos utilizados.

Figura 41. Limitaciones Visualización 2D y Beneficios Visualización 3D - 4D.

5.5.3 Beneficios de Tecnologías CAD 4D.

Otro tema destacado en las encuestas es que CAD en 3D es la base para el uso de herramientas más avanzados, como el CAD 4D, que incluye el tiempo del modelo en el espacio.

- **Generales**
 - Reducción de costo y plazo de ejecución.
 - Reducción de errores durante la construcción.
 - Reducción de incertidumbre y riesgo del programa.
- **Diseño**
 - Diseños más confiables.
 - Enfoque en la planificación y constructabilidad.
- **Construcción**
 - Visualización del programa de construcción.
 - Análisis de interferencias espacio –tiempo.
- **Cliente**
 - Seguridad de la calidad del producto y servicio ofrecido.

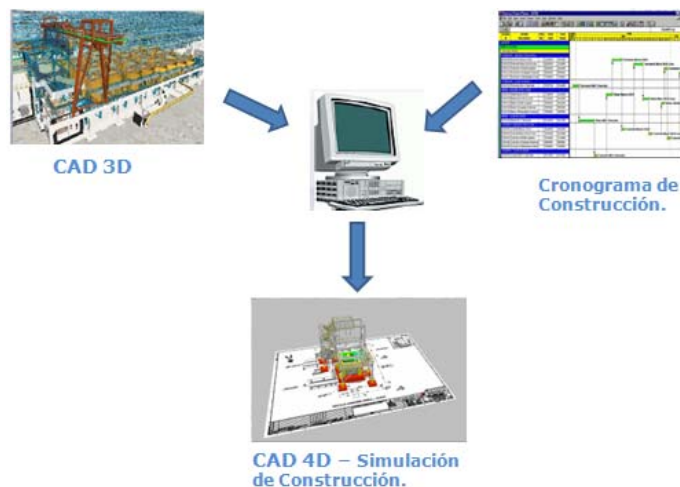


Figura 42. Tecnologías de Visualización CAD 4D.

6.1 DIAGNÓSTICO DE IMPLEMENTACIÓN. EJEMPLO DE APLICACIÓN, (Brasil).

Con la finalidad de diagnosticar el uso de los principios Lean y validar el diagnóstico se propuso realizar pruebas en seis diferentes obras ubicadas en la ciudad de Passo Fundo (RS) teniendo en cuenta los 11 principios de la Filosofía Lean aplicando la prueba descrita anteriormente. El diagnóstico fue realizado por estudiantes de Ingeniería Civil en la Universidad de Passo Fundo, que recibieron explicaciones previas sobre el concepto teórico Lean, cada uno de los principios y ejemplos de aplicaciones.

	Obra 1	Obra 2	Obra 3	Obra 4	Obra 5	Obra 6	IP
Reducción de las actividades que no tienen valor añadido (pérdidas).	100	0	0	0	0	0	16,67
Aumentar el valor del producto final a través de un examen de los requisitos del cliente.	40	0	100	33	20	40	38,83
Reducción de la Variabilidad.	10	33	33	33	33	33	29,17
Reducción del tiempo de ciclo.	33	0	33	33	33	0	22
Simplificar el proceso reduciendo el número de pasos y partes.	0	25	25	25	25	25	20,83
Aumentar la flexibilidad de la producción.	66	50	66	25	33	0	40
Aumentar la transparencia del proceso.	25	0	0	0	25	25	12,5
Enfocar el control al proceso completo.	50	0	50	50	0	0	25
Construir una mejora continua en el proceso.	0	0	33	50	25	25	22,17
Balancear el mejoramiento de los flujos y las conversiones.	0	0	0	50	0	0	8,33
Benchmarking (Referenciación).	0	0	66	66	100	0	38,67
ICE por Obra =	26,77	8,92	33,55	30,16	24,29	12,23	

Figura 43. Resultados de Aplicación de Diagnóstico en Obras Civiles (Brasil).²⁵

La figura representa gráficamente los resultados y se observa que, en general, los indicadores demuestran que el uso de prácticas relativas a los principios de Lean construcción es bajo.

²⁵ DIAGNÓSTICO PARA IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA -- Juliana Kurek; Adalberto Pandolfo; Luciana Londero Brandli; Luciana Marcondes Pandolfo; José Waldomiro Jiménez Rojas.

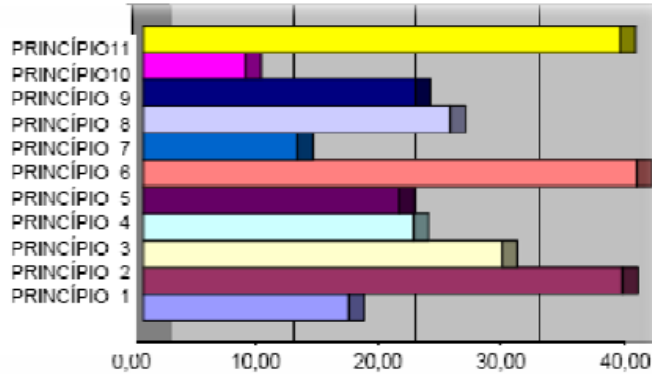


Figura 44. Resultados de Diagnóstico en Obras Civiles (Brasil).²⁶

El principio que menos evidencia la aplicación de diagnóstico es el décimo, ya que el equilibrio entre las mejoras de flujo y las conversiones son poco evidentes, y a pesar de tener resultados modestos, los principios undécimo, sexto y segundo, muestran valores importantes en la aplicación de sus respectivos principios.

6.2 IMPLEMENTACIÓN DE BALANCE SCORECARD (Venezuela).

El proyecto a estudiar es una edificación en la cual funcionarían las oficinas para la empresa de servicios petroleros BJ services.

6.2.1 Características generales del proyecto.

- **Tipo:** Edificio de uso de Oficinas.
- **Sistema estructural:** Entramado liviano tipo “steel framing”, sistema SPEEDCO.
- **Ubicación:** Maturín Estado Monagas, Venezuela.

²⁶ DIAGNÓSTICO PARA IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA -- Juliana Kurek; Adalberto Pandolfo; Luciana Londero Brandli; Luciana Marcondes Pandolfo; José Waldomiro Jiménez Rojas.

- **Alcance del contrato:** Suministro de estructura y cerramiento para muros de fachada e interior, estructura y cerramiento de cubierta y entrepiso, estructura de cielo raso.

6.2.2 Tamaño de la obra a ejecutar.

- **Área total:** 1175 m², Primer piso: 1045, Segundo piso:130m²
- **Área total de cubierta:** 1016m²
- **Área total de muros:** 2594 m²
- **Área entrepiso:** 130 m²
- **Área total de cielo raso:** 11502 m²



Figura 45. Visualización de proyecto.

Se realizó una implementación preliminar de los principios de la filosofía Lean, esta obra de construcción es vista como una unidad de negocio, con lo cual se generaron unos resultados finales a la organización; el objetivo es la construcción de la edificación y la posterior entrega al cliente. La contribución del proyecto a la empresa debe ser tanto financiera, como el fortalecimiento y la confirmación de la calidad y la reputación de la empresa en el mercado, bajo estas premisas se realizó el siguiente análisis de resultados:

Las estrategias de la organización para proyectos similares con procesos constructivos estandarizados se basarán en el análisis de los rendimientos y los resultados obtenidos en este proyecto, estableciendo sistemas de medición continua donde los directivos y funcionarios establecerán los parámetros y metodologías de mejora.

A continuación se muestra en la tabla un análisis de la confiabilidad de la planificación a través de seguimiento de la programación inicial vs. Real ejecutado para cada uno de los procesos constructivos.

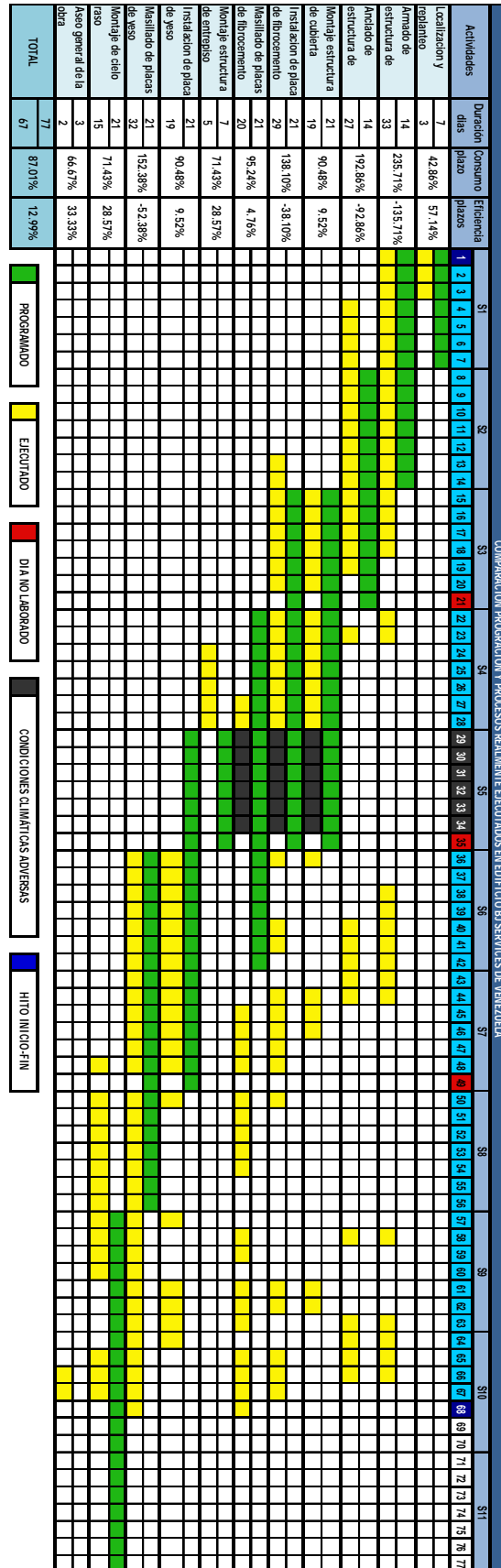


Figura 46. Análisis de Confiabilidad

RENDIMIENTO DE PROCESOS EDIFICIO BJ SERVICES DE VENEZUELA							
Actividades	Duración días	Consumo plazos	Eficiencia plazos	HH / CANT. OBRA	RTO M.O.		
					UND	HH/UND	
Localización y replanteo	PROGRAMADO	7	42.86%	57.14%	35	HH	0.034
	EJECUTADO	3			1035	M2	HH/M2
Armado de estructura de	PROGRAMADO	14	235.71%	-135.71%	1770	HH	0.679
	EJECUTADO	33			2607	M2	HH/M2
Anclado de estructura de muros	PROGRAMADO	14	192.86%	-92.86%	455	HH	0.174
	EJECUTADO	27			2607.62	M2	HH/M2
Montaje estructura de cubierta	PROGRAMADO	21	90.48%	9.52%	1699	HH	1.640
	EJECUTADO	19			1035.71	M2	HH/M2
Instalación de placa de fibrocemento	PROGRAMADO	21	138.10%	-38.10%	1065	HH	0.650
	EJECUTADO	29			1638.97	M2	HH/M2
Masillado de placas de fibrocemento	PROGRAMADO	21	95.24%	4.76%	715	HH	0.436
	EJECUTADO	20			1638.97	M2	HH/M2
Montaje estructura de entrepiso	PROGRAMADO	7	71.43%	28.57%	210	HH	1.665
	EJECUTADO	5			126.15	M2	HH/M2
Instalación de placa de yeso	PROGRAMADO	21	90.48%	9.52%	1065	HH	0.298
	EJECUTADO	19			3576.28	M2	HH/M2
Masillado de placas de yeso	PROGRAMADO	21	152.38%	-52.38%	1395	HH	0.390
	EJECUTADO	32			3576.28	M2	HH/M2
Montaje de cielo raso	PROGRAMADO	21	71.43%	28.57%	1013	HH	0.872
	EJECUTADO	15			1161.86	M2	HH/M2
Aseo general de la obra	PROGRAMADO	3	66.67%	33.33%	30	HH	0.023
	EJECUTADO	2			1300	M2	HH/M2
TOTAL	PROGRAMADO	77	87.01%	12.99%	OPTIMO		
	EJECUTADO	67					

RESUMEN CANTIDAD DE OBRA RESUMEN EDIFICIO BJ			
ITEM	AREA BRUTA	AREA NETA	UND
TOTAL ESTRUCTURA DE MUROS	2607.62	2252.78	m2
TOTAL AREA PLACA FIBROCEMENTO 10mm	867.71	705.45	m2
TOTAL AREA PLACA FIBROCEMENTO 8mm	771.26	712.50	m2
TOTAL AREA PLACA FIBROCEMENTO YESO	3576.28	2078.35	m2
TOTAL AREA CUBIERTA	1035.71	1035.71	m2
TOTAL AREA DE ENTREPISO	126.15	126.15	m2
TOTAL AREA DE CIELO RASO	1161.86	1161.86	m2

9452	TOTAL HH.EFECTIVAMENTE LABORADAS
10041	TOTAL H.H PAGADAS
589	TOTAL H.H PERDIDAS POR LLUVIA Y ESPERAS
5.87%	% HORAS NO LABORADAS EFECTIVAMENTE

TABLA COMPARATIVA RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA				
ITEM	Rtos hh/m2- SPEEDCO	Rtos hh/m2-BJ SERVICES	% VARIACIÓN SPEEDCO-BJ	EFICIENCIA X PROCESO RTO
Muros yeso - yeso una mano de pintura	2.67	2.23	83.59%	16.41%
Muros fibro - yeso una mano de pintura	2.67	2.63	98.53%	1.47%
Muros fibro - fibro una mano de pintura	3.20	3.03	94.55%	5.45%
Muros yeso una cara una mano de pintura	2.29	1.54	67.43%	32.57%
Muros fibrocemento una cara una mano de pintura	2.67	1.94	72.73%	27.27%
Entrepiso (placa inferior-estructura-placa superior sin acabados para piso)	4.00	2.94	73.50%	26.50%
Cielo raso de ensamble automatico	1.28	0.872	68.12%	31.88%

Figura 47. Análisis de Rendimientos de Mano de Obra para procesos.

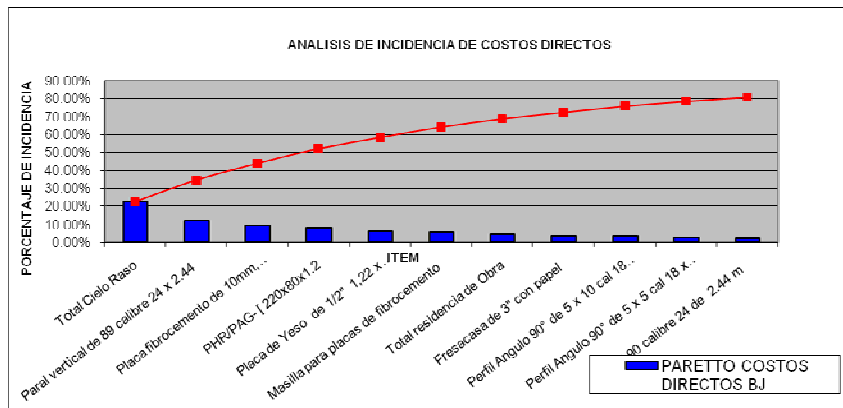


Figura 48. Análisis de incidencia de Costos Directos.

INDICES DE DESEMPEÑO POR PROCESOS EN OBRA BU SERVICES									
ITEM	PARAMETRO MEDICION	PROCESO	INDICE 1	UNID	INDICE 2	UNID	CONSUMO DE RECURSOS	EFICIENCIA	TRAZABILIDAD
CONSTRUCCIÓN	PRODUCTIVIDAD RENDIMIENTO	MURO YESO-YESO	RENDIMIENTO PROCESO OBRA	2.23	HH	RENDIMIENTO EN PROCESO PROGRAMADO	RENDIMIENTO REAL/RENDIMIENTO PROPUESTO	16.48%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		MURO FIBRO-YESO	RENDIMIENTO PROCESO OBRA	2.63	HH	RENDIMIENTO EN PROCESO PROGRAMADO	RENDIMIENTO REAL/RENDIMIENTO PROPUESTO	1.47%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		MURO FIBRO-FIBRO	RENDIMIENTO PROCESO OBRA	3.03	HH	RENDIMIENTO EN PROCESO PROGRAMADO	RENDIMIENTO REAL/RENDIMIENTO PROPUESTO	5.45%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		MURO YESO 1CARA	RENDIMIENTO PROCESO OBRA	1.54	HH	RENDIMIENTO EN PROCESO PROGRAMADO	RENDIMIENTO REAL/RENDIMIENTO PROPUESTO	32.57%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		MURO FIBRO 1CARA	RENDIMIENTO PROCESO OBRA	1.94	HH	RENDIMIENTO EN PROCESO PROGRAMADO	RENDIMIENTO REAL/RENDIMIENTO PROPUESTO	27.27%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		ENTRERISO	RENDIMIENTO PROCESO OBRA	2.94	HH	RENDIMIENTO EN PROCESO PROGRAMADO	RENDIMIENTO REAL/RENDIMIENTO PROPUESTO	26.50%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		CUBIERTA	RENDIMIENTO PROCESO OBRA	2.33	HH	RENDIMIENTO EN PROCESO PROGRAMADO	RENDIMIENTO REAL/RENDIMIENTO PROPUESTO	26.75%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		CIELO AUTOSANABLE	RENDIMIENTO PROCESO OBRA	1.13	HH	RENDIMIENTO EN PROCESO PROGRAMADO	RENDIMIENTO REAL/RENDIMIENTO PROPUESTO	11.45%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		TRABAJO REHECHO	HH TRABAJO REHECHO	20	HH	HH-TOTALES	HH TRABAJO REHECHO/HH TOTALES	0.20%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		PERDIDA MATERIAL	TOTAL MATERIAL PERDIDO	\$ 751,648	PERSONAS	TOTAL COSTOS DIRECTOS	TOTAL MATERIAL PERDIDO/TOTAL COSTOS DIRECTOS	0.25%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		ATRASOS	PEIDIDOS	5	UNID	TOTAL PEDIDOS	PEIDIDOS ATRAZADOS/TOTAL PEDIDOS	83.33%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		CONFORMIDAD ESPERACIONES	ACTIVIDADES ESPERA	9	UNID	TOTAL ACTIVIDADES	ACTIVIDADES ESPERA/TOTAL ACTIVIDADES	90.00%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
ABASTECIMIENTO	CONFORMIDAD ESPERACIONES	TOTAL OBRA	PEIDIDOS ERRORES	5	HH	TOTAL PEDIDOS	PEIDIDOS CON ERRORES/TOTAL DE PEDIDOS	83.33%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
		TOTAL OBRA	TOTAL ACTIVIDADES EJECUTADAS COMPLETAMENTE POR SEMANA	11	UNID	TOTAL ACTIVIDADES PROGRAMADAS	TOTAL ACTIVIDADES COMPLETADAS/TOTAL PROGRAMADAS	61.11%	CUADRO RENDIMIENTOS CONTROL
PLANIFICACION	EFECTIVIDAD DE LA PLANIFICACION	TOTAL OBRA	NUMERO DE CAMBIOS PLANOS	17	UNID	TOTAL PLANOS	ACTIVIDADES ESPERA/TOTAL ACTIVIDADES	113.33%	PLANOS
		TOTAL OBRA	TOTAL ERRORES	41	UNID	TOTAL PLANOS	TOTAL ERRORE/TOTAL PLANOS	273.33%	PLANOS
DISEÑO	CAMBIOS DE DISEÑO CONFIRMIAD ESPERACIONES	TOTAL DISEÑO	NUMERO DE CAMBIOS PLANOS	17	UNID	TOTAL PLANOS	ACTIVIDADES ESPERA/TOTAL ACTIVIDADES	113.33%	PLANOS
		TOTAL DISEÑO	TOTAL ERRORES	41	UNID	TOTAL PLANOS	TOTAL ERRORE/TOTAL PLANOS	273.33%	PLANOS

Figura 49. Índices de Desempeño por procesos

Figura 50. Índices de Desempeño por resultados.

INDICES DE DESEMPEÑO POR RESULTADOS EN OBRA B J SERVICES									
ITEM	PARAMETRO MEDICION	INDICE 1	UND	INDICE 2	UND	CONSUMO DE RECURSOS	EFICIENCIA	TRAZABILIDAD	
COSTO	DESVIACION DEL COSTO	COSTO REAL	PESOS	COSTO PRESUPUESTADO	PESOS	COSTO REAL/COSTO PRESUPUESTADO	21.68%	CUADRO CONTROL ANEXO1	
		\$ 344,746,280.50		\$ 440,182,957.03		78.32%			
PLAZO	DESVIACION DEL PLAZO	PLAZO REAL	DIAS	PLAZO PRESUPUESTADO	DIAS	PLAZO REAL/PLAZO PRESUPUESTADO	12.99%	CUADRO SEGUIMIENTO ANEXO2	
		67		77		87.01%			
MANO DE OBRA	EFICIENCIA DE LA MANO DE OBRA	HH REAL	HH	HH PRESUPUESTADAS	HH	HH REAL / HH PRESUPUESTADO	9.64%	CUADRO RESUMEN HH ANEXOS3	
		9,073		10,041		90.36%			
		COSTO M.O. REAL		COSTO M.O. PRESUPUESTADO		M.O. REAL / M.O. PRESUPUESTADA			90.36%
ALCANCE OBRA	Cambio en la Modulación de Fachada para Ahorro de Masilla	COSTO CAMBIO	DIAS	COSTO PRESUPUESTADO MUROS	DIAS	COSTO CAMBIO/COSTO PRESUPUESTADO	5.34%	AHORRO: cambio especificación de fachada en obra	
		\$ 6,969,368.00		\$ 130,505,509.85		5.34%			
		COSTO NO CUMPLIMIENTOS		COSTO TOTAL OBRA		PORCENTAJE NO CALIDAD			1.97%
CALIDAD	NO CONFORMIDAD	\$ 6,779,112.00	PESOS	\$ 344,746,280.50	PESOS	PORCENTAJE COSTO NO CALIDAD	3.82%	CUADRO CONTROL ANEXO1	
		COSTO M.O. CUADRILLA		COSTO M.O. TOTAL		3.82%			
		\$ 2,105,814.00		\$ 55,100,329.00		3.82%			

6.3 APLICACIÓN DE LAST PLANNER EN UN SISTEMA EN EMPRESAS DE CONSTRUCCIÓN EN MEDELLÍN.²⁷

Sobre la base de la experiencia obtenida en el año 2002 con la primera prueba desarrollada en el estudio de investigación "La mejora de la productividad social en proyectos de construcción de viviendas a través de la *Filosofía Lean*" (Botero; 2002), se constituyó un grupo de empresas de construcción que iniciaron un proceso de investigación donde se identificaron las pérdidas en los procesos constructivos utilizando la metodología *Last Planner*. La conclusión de los resultados analizados, fueron grandes deficiencias en la planificación de los proyectos, como se muestra en la figura.

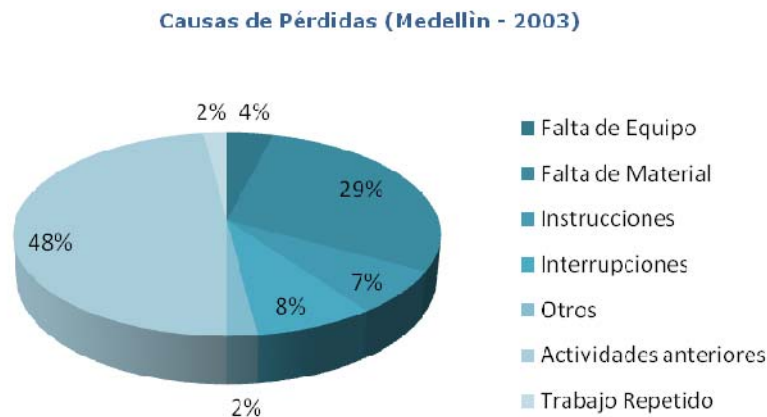


Figura 51. Causas de Perdidas (Medellín – 2003).

El grupo de empresas que aplicó el sistema *Last Planner* durante el año 2003, poseen ciertas características descritas a continuación:

Empresa	Tamaño	Cubrimiento
---------	--------	-------------

²⁷ LAST PLANNER: AN ADVANCE IN PLANNING AND CONTROLLING CONSTRUCTION PROJECTS. CASE STUDY IN THE CITY OF MEDELLIN. BOTERO, Luis Fernando, ALVAREZ, Martha Eugenia.

1	Grande	Local
2	Grande	Local - Nacional
3	Pequeña	Local
		Local - Nacional -
4	Grande	Internacional
5	Mediana	Local
6	Mediana	Local
		Local - Nacional -
7	Mediana	Internacional

Figura 52. Características de las empresas constructoras participantes. Last Planner Medellín – 2003.

De las siete empresas participantes, fueron seleccionados 12 proyectos con diferentes sistemas constructivos, para un total de 132.174 m².

La aplicación del sistema se realizó de la siguiente manera:

APLICACIÓN LAST PLANNER (Medellín - 2003)			
Revisión del plan general del proyecto (plan maestro).	Planificación de la Last Planner durante 5 semanas .	Preparar el plan de trabajo semanal, la asignación de actividades y los trabajadores responsables de la eliminación de restricciones .	Llevar a cabo reuniones para evaluar tanto el desempeño del semanal, como el plan de trabajo y establecer la PAC y las causas de no cumplimiento de lo previsto.

Figura 53. Aplicación Last Planner (Medellín - 2003).

6.3.1 Resultados de la Aplicación del Sistema Last Planner (Medellín – 2003).

A continuación se muestra el indicador de PAC para cada proyecto, así como el indicador general PAC de Medellín (75,5%). Si bien este valor está por debajo

de lo que se considera un buen desempeño, algunos valores individuales mostraron desempeños por encima del 80% y 85% lo que puede considerarse como muy bueno. Cada proyecto tiene un seguimiento semanal.

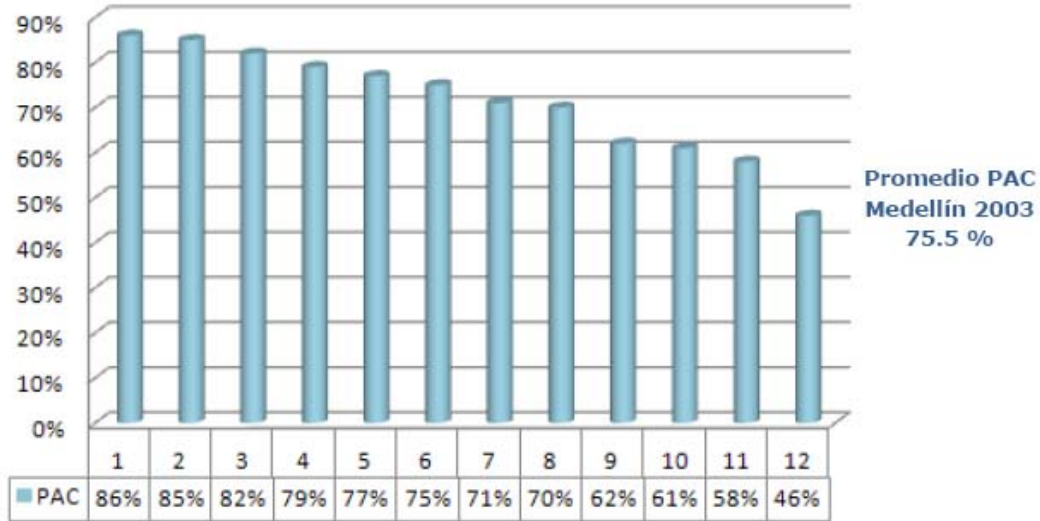


Figura 54. Resultados PAC de los proyectos en Medellín en 2003.

A continuación se muestran los resultados para el seguimiento de unos de los proyectos (Proyecto 2, Edificios – 9.930 m²), durante 24 semanas. Este proyecto refleja un PAC con valores aceptables durante las dos primeras semanas, y alcanzó un buen desarrollo en la tercera semana. Durante las semanas 7, 9, y 18 se han encontrado los valores más bajos del PAC, pero ninguno de ellos es por debajo del 60%, rango en el que sería considerado un desempeño bajo. Sin embargo, el total de PAC corresponde al 85%, lo que es tomado como un muy buen rendimiento global del proyecto.

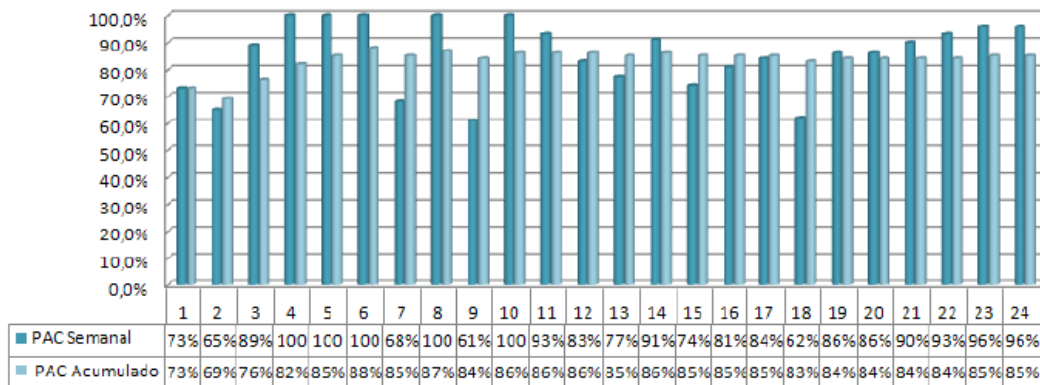


Figura 55. PAC Semanal y Acumulativo del proyecto.

6.3.2 Causas de No Cumplimiento de las Actividades Previstas.

Numerosas causas alejaron el cumplimiento satisfactorio de lo que estaba previsto. Este tipo de información es de gran importancia para el gerente del proyecto, ya que permite anticipar a su ocurrencia, de acuerdo a lo observado en períodos anteriores.

El análisis de Pareto correspondiente a las causas de no cumplimiento de los proyectos estudiados en Medellín durante el año 2003, se muestra a continuación:

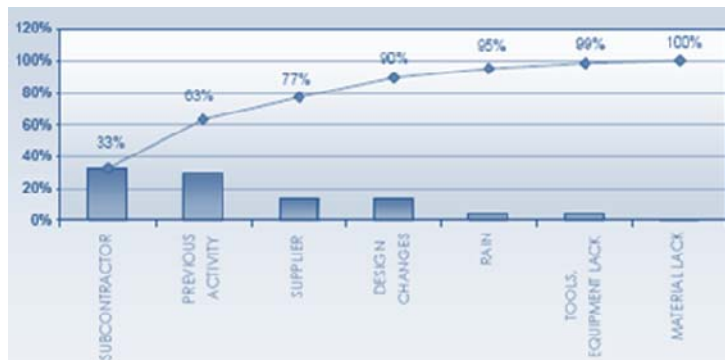


Figura 56. Causas de No Cumplimiento de actividades (Medellín 2003).

Como puede verse en el gráfico, las dos primeras causas (subcontratistas, actividad anterior), que representan un 63%, puede ser controlado por el gerente del proyecto. Medidas correctivas para resolver los problemas garantizar un mayor enfoque al compromiso adquirido en el plan semanal. Además, la otra causas, lo que corresponde a un 37% (proveedores, la lluvia, los cambios en el diseño, etc), son factores que no pueden ser controlados por el director del proyecto y hace parte de los riesgos involucrados en la actividad de construcción.

6.3.3 Evolución del PAC acumulado en Medellín en 2003.

Como el nuevo sistema se puso en práctica, el aumento de la fiabilidad, la planificación de la reducción de la incertidumbre.

En la Figura se muestra la evolución PAC por semana de la aplicación en Medellín.



Figura 57. Evolución General PPC en Medellín.

La pendiente del gráfico es el 0,76% y corresponde con el crecimiento promedio semanal de PAC en todas las empresas. La intersección (65,8%) establece el valor inicial promedio para las empresas en el momento cuando el sistema de último Planificador comenzó a aplicarse. El modelo de regresión lineal indica que proyectos de corta duración requieren un PAC inicial cerca del 80% si están interesados en llegar a 100%, lo que implica que tienen que contratar personas con experiencia en sistema LAST PLANNER.

Por último, aunque es necesario subrayar la importancia de llegar a un PAC por encima del 80%, un excelente rendimiento comienza con un adecuado diseño del Plan General, acompañado de un adecuado Lookahead Plan alineado con el Plan General. A su vez, el plan de trabajo semanal debe caber dentro del Lookahead Plan. Además, una completa ejecución del plan de trabajo semanal (PPC = 100%) debe llevarse a cabo con el fin de generar una

cadena de tareas que aportará valor a la actividad de la construcción, y que refleje la competitividad de la empresas en el mercado.

6.3.4 Reuniones de Planificación y Evaluación del Desempeño.

Esta actividad se considera como el principal avance en la aplicación del sistema de planificación *Last Planner*. Tradicionalmente, las actividades se definen sin la participación de quien en realidad las va a realizar y sin el análisis y la eliminación de las limitaciones, generando así los conflictos que hacen que todo el sistema de planificación colapse.

Con la aplicación del nuevo sistema, la participación de los Últimos Planificadores y el análisis de limitaciones a través de una mirada por delante y el plan de trabajo semanal, el compromiso del personal del proyecto y la aplicación de la transparencia el proceso se han logrado, lo que permite una óptima comunicación con el personal, a través de la publicación de diferentes y del contratista general del proyecto los resultados del desarrollo.

6.3.5 Análisis de Resultados.

Last Planner, como un sistema para la planificación y el control de los proyectos de construcción, es una herramienta muy útil para aumentar la fiabilidad y reducir la incertidumbre en la planificación. La utilidad del sistema fue demostrado a través de los análisis realizados durante un año en Medellín, en donde, el indicador aumentó cada vez que el sistema se puso en práctica. La investigación mostró un crecimiento de PAC del 65%, en la primera semana de aplicación, al 85% en la 25^a semana.

La planificación Lookahead, la planificación semanal y plan de control de reuniones, muestran efectos positivos en el desarrollo y ejecución de los proyectos en diferentes aspectos:

- **La Coherencia en la Planificación:** Existe una lógica de desarrollo de la planificación donde el plan de trabajo semanal se deriva del Lookahead Plan que a su vez, proviene de la planificación general.
- **Compromiso:** Escuchando a todos los miembros que interactúan directamente en la planificación (Últimos Planificadores), obreros, supervisores y subcontratistas.
- **Medición de la cultura:** Es necesario aumentar la conciencia sobre la necesidad de medir con el fin de establecer puntos de referencia para la ejecución de los proyectos.
- **Mejora continua:** una vez que la metodología de trabajo y el PAC han sido aplicados sistemáticamente, es posible percibir las mejoras continuas en el rendimiento.

El análisis de las causas de No cumplimiento de las tareas previstas ofrece importante información que puede ser para evitar re-aparición de situaciones que pueden generar retrasos y la baja productividad de los proyecto.

6.4 EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA VISUALIZACIÓN CAD 3D-4D²⁸.

Para identificar los beneficios de la Modelación en 3D, una Universidad de Brasil realizó un análisis de la visualización en algunas edificaciones, basándose en el Software Autodesk Revit®. La metodología adoptada en cada caso fue la siguiente:

- A partir de un programa de necesidades, se modelar los diseños utilizando bocetos a mano y dibujos en el programa CAD.

²⁸ **Wilson Florio (1)** Universidade Presbiteriana Mackenzie, rua itambé 45 prédio 9, 2114-8313. CONTRIBUIÇÕES DO BUILDING INFORMATION MODELING NO PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA.

- Analizar los parámetros inesperados durante el proceso de modelado.
- Realizar diferentes pruebas de las variaciones de los parámetros de elementos constructivos.
- Ver, comprender y modificar las relaciones espaciales entre los elementos dispuestos en el espacio.
- Extracto cuantificado de los elementos configurados.
- Análisis del proceso y resultados.

En la etapa inicial se analizaron las acciones físicas (diseño) y perceptivas (reconocer y reinterpretar) de los dibujos, bocetos y modelo digital, donde se concluyó durante el modelado que el croquis del proyecto no comprende la totalidad de los componentes del modelo total, y se presentan dificultades para expresar el modelo 3D, ya que la visualización 2D carece de técnica y no permite conocer la secuencia de la ejecución en la construcción.

En la etapa intermedia se analizaron los beneficios del modelado paramétrico en 3D y la visualización de la contribución de todos los elementos en el espacio. La mayor parte del tiempo se dedicó al modelado y la modificación de los elementos y sus parámetros. Así pues, si bien la geometría de los elementos se generó a partir de los datos disponibles en el programa, fue posible observar la importancia de modelado en tres dimensiones, el análisis de la interferencia entre la estructura, y diferentes tipos de aberturas y cerramientos.



Figura 58. Visualización de los Elementos Constructivos desde distintos ángulos.

Uno de los puntos destacados fue la ventaja que ofrece el programa para ver por separado y en tres dimensiones las familias de componentes (vigas, columnas, losas, albañilería, ventanas, puertas, escaleras, techos, etc.), por lo que la comprensión del modelo es inmediata, evitando la abstracción de las representaciones en 2D para verificar las relaciones espaciales. Por lo tanto, la edificación es considerada como un cuerpo integral, donde se puede ver tanto dentro como por fuera, simulando el mismo tiempo técnico, estético y perceptivo.

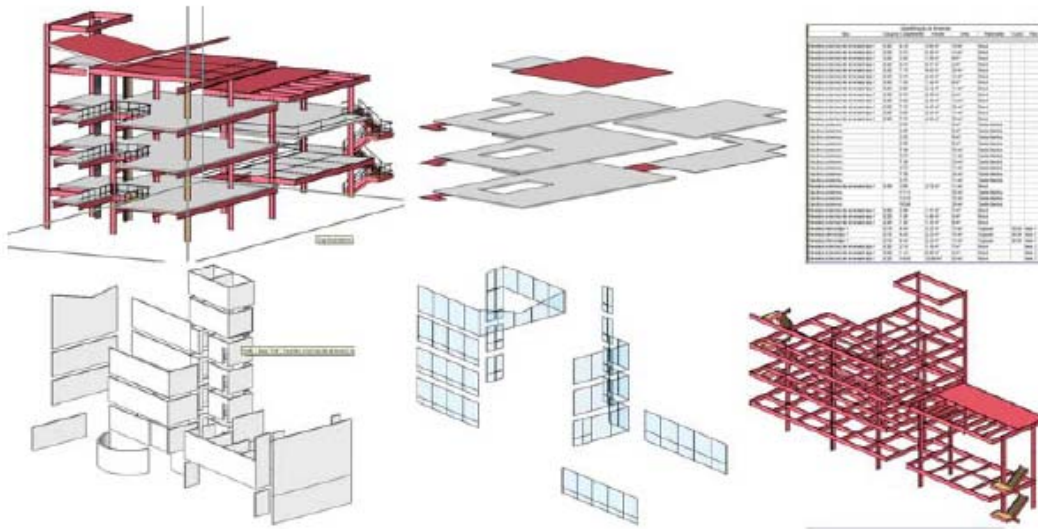


Figura 59. Visualización de los Elementos Constructivos y la Escala de Mediciones.

En el paso final, además de la aparición de espacios, se examino la viabilidad técnica de la solución que desea. Como la carga de elementos constructivos, características y atributos de los componentes (que varían en función de cada uno de los componentes, tales como el tamaño, material, fabricante, tamaño, etc.), comparando diversas propuestas de las listas obtenidas en cada una de ellas.

Por ejemplo Un análisis detallado de las imágenes de CAD se utiliza para entender los problemas de proyectos identificados en 2D. Se presentan detalles donde el diseñador omite la representación de piezas de fijación de los tubos flexibles para agua caliente y fría. Existe también una simplificación de las tuberías, a través de líneas, que no expresan su tamaño real.

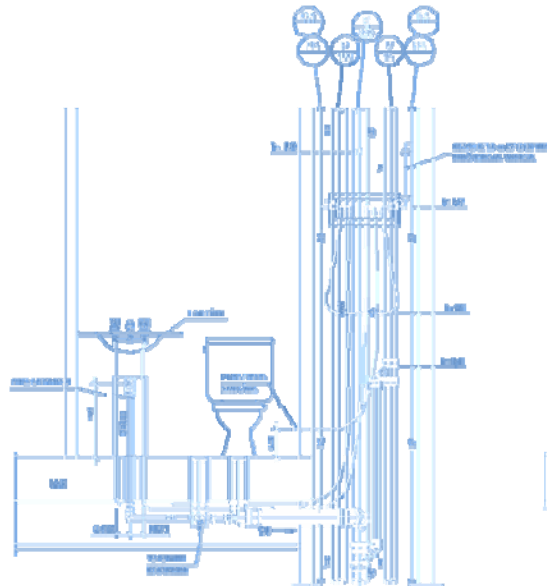


Figura 60. Inconveniente de Visualización 2D.

Este ejemplo explica dos procedimientos típicos del proyecto representados en 2D: la simplificación y la omisión de información, de modo que el diseño debe leerse, en versión impresa, en las plantas, cortes y elevaciones. Que termina causando dificultades para el análisis del proyecto y explica en cierta medida, porque es necesario más tiempo verificar el proyecto en 2D. El Ingeniero Coordinador del proyecto o cualquier otro colaborador, necesita reconstruir mental y muy cuidadosamente, el espacio que contenga la información omitida o simplificada.

En el modelo 3D mostrado se presenta una situación de interferencia entre algunos elementos, por medio de algunas guías, se establece la estructura de la pared de yeso, y se logra mostrar que es necesaria la eliminación de parte de la tubería.

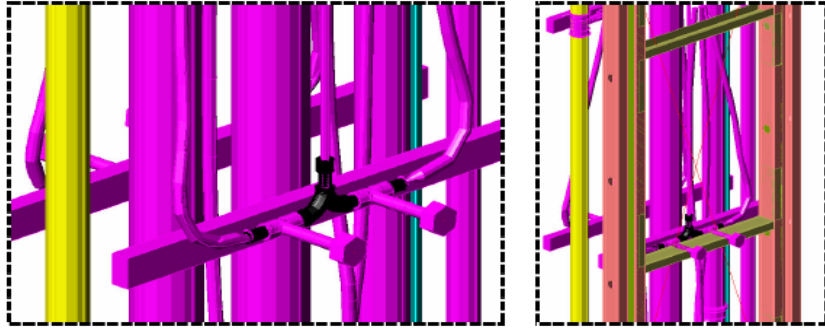


Figura 61. Modelos 3D, que muestran las tuberías y la interferencia con la pared.

6.4.1 Análisis de Resultados.

En el análisis de los resultados, se entiende que la construcción virtual de elementos constructivos paramétrico permite examinar, paso a paso, el vínculo entre el diseño y sus componentes, al mismo tiempo que una base de datos que contiene la relación de estos elementos, sus atributos y las especificaciones que se están generando. Las plantas, cortes, elevaciones y perspectivas que se generaron a partir de un único modelo digital 3D que facilitó las conversiones sobre el proyecto, lo que permite tanto la comprensión de lo que se está representado en dos dimensiones como el punto de vista de la secuencia de ejecución de la obra.

Hubo una notable mejora en la calidad de los proyectos, porque la comprensión del proceso constructivo redujo notablemente los errores de interpretación y la relación constructiva entre los elementos y el espacio, ya que fue complementada la ambigua representación en 2D con el desarrollo digital de los precisos modelos 3D, lo que además permite analizar las secuencias de actividades necesarias para la construcción del proyecto.

6.4.2 Ejemplo de Secuencia del Proceso Constructivo²⁹.

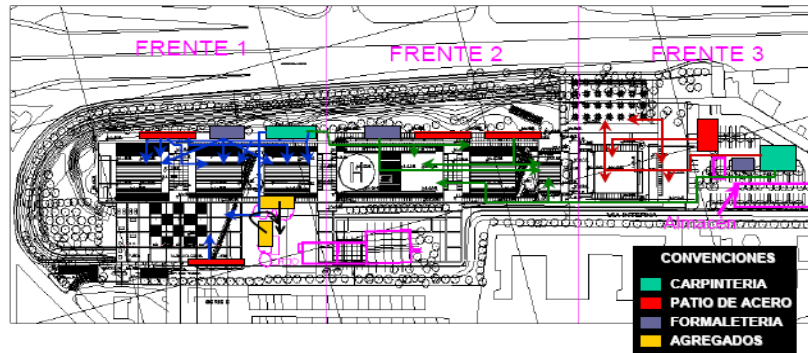


Figura 62. Ubicación de Frentes de Trabajo y Espacios Fijos.

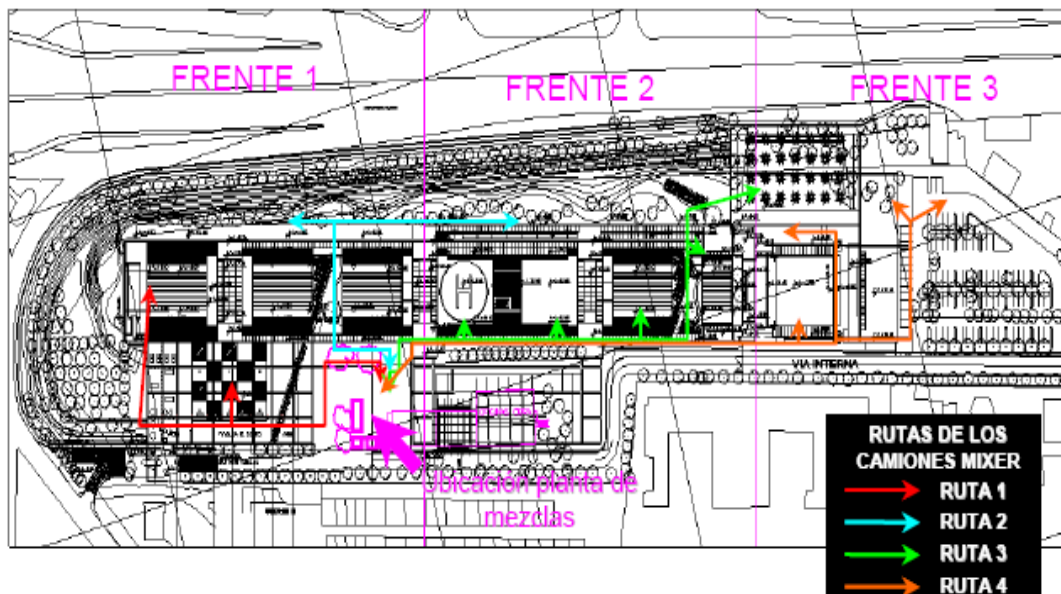


Figura 63. Ubicación de Frentes de Trabajo y Rutas de Transporte.

²⁹ CONCRETO – We Build Future with Humanity.



Figura 64. Visualización en Campo y Ubicación de Frente



Figura 65. Modelo 4D de Proyecto³⁰.

³⁰ Luis F. Alarcón, Ph. D. Lean Construction y Tecnología de Información Innovación Estratégica para la Construcción. Centro de Excelencia en Gestión de Producción. Universidad Católica de Chile.



Figura 66. Obra Terminada - Fiscalía Medellín.

6.5 BENCHMARKING: CREACIÓN DE UN SISTEMA DE REFERENCIA EN BOGOTÁ, APLICANDO LA FILOSOFÍA LEAN³¹.

A continuación se muestran los primeros pasos en la búsqueda de un Sistema de Referencia según los principios de la filosofía Construcción sin pérdidas, mediante la evaluación de pérdida de tiempos en la construcción inmobiliaria en la ciudad de Bogotá.

El tema de la investigación se desarrolla en proyectos inmobiliarios en Colombia, ubicados en la ciudad de Bogotá; tomando como base los conceptos de construcción sin pérdidas en general y las investigaciones realizadas a nivel nacional y regional sobre el tema. Se pretende realizar una primera aproximación en la creación de un sistema de referencia (Benchmarking) en la ciudad, para la medición de pérdida de tiempo durante el proceso de construcción.

Fueron seleccionadas empresas con varios años de experiencia en el sector de la construcción y se escogieron cuatro obras inmobiliarias para realizar las observaciones. Estos proyectos se presentan a continuación:

³¹ C. A. Núñez. *Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.*
D. Echeverry. *Asesor, Universidad de Los Andes, Bogotá, Colombia.*

OBRA	SISTEMA CONSTRUCTIVO	NUMERO DE UNIDADES	AREA (M2)	TIPO DE OBRA
1	Mampostería Estructural	254 Casas	16.600	Unifamiliar
2	Mampostería Estructural	256 Casas	16.600	Unifamiliar
3	Sistema Tipo Túnel	320 Apto	46.300	Edificio
4	Sistema Tipo Túnel	360 Apto	54.200	Edificio

Figura 67. Características de los proyectos observados.

Al ingresar y hacer un reconocimiento de cada obra, se definieron las actividades a medir y se categorizaron sus causas, retomando las causas tenidas en cuenta en investigaciones anteriores. Las actividades observadas en los proyecto son trece: instalación de formaleta, armada de vigas, fundida de vigas, instalación eléctrica, instalación hidro-sanitaria, mampostería, pañete, armada de placas, fundida de placa, armada de estructura, fundida de estructura, excavación manual, y transporte vertical de materiales. Se realizaron 311 mediciones en total durante cuatro meses.

El promedio general de la utilización del tiempo en la ciudad de Bogotá es bueno, tomando como base los resultados obtenidos anteriormente en la ciudad de Santiago de Chile y Medellín.

CATEGORIA	%TP	%TC	%TNC	OBSERVACIONES
OPTIMO	60	25	15	Chile 1995 370.000 m2
NORMAL	55	25	20	Chile 1995 370.000 m2
PROMEDIO CHILE	47	28	25	Chile 1995 370.000 m2
PROMEDIO MEDELLIN	49	28	23	Medellín 2002 43.569 m2
PROMEDIO MEDELLIN	47,2	37,5	15,2	Medellín 2003 136.572 m2
PROMEDIO BOGOTA	57,4	21,5	21,1	Bogotá 2005 134.000 m2

Figura 68. Desempeño de tiempo de trabajo en estudios anteriores.

El máximo valor del tiempo productivo en las obras observadas en Bogotá es 64,25 % y el mínimo 47,18%, con un promedio de 57,4 %; en el tiempo contributivo el máximo valor es 29,23 % y el mínimo 15,33 %, dando un promedio de 21,5 % y en el tiempo no contributivo el máximo tiempo es 23.59%, el mínimo 19,68 % con un promedio de 21,1 %.

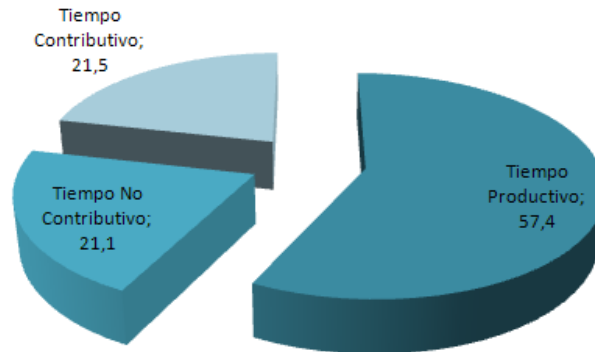


Figura 69. Promedio de desempeño de tiempos en Bogotá.

El promedio del tiempo productivo obtenido en Bogotá es superior al considerado como desempeño normal en Chile, el tiempo contributivo es cuatro puntos porcentuales menor que los resultados obtenidos en estudios anteriores y el porcentaje de tiempo no contributivo es 21.1 %, valor mas elevado de lo normal; esto da como sumatoria un porcentaje de tiempo no productivo de 42,6 %.

OBRA	%TP	%TC	%TNC
1	55,68	23,65	20,67
2	47,18	29,23	23,59
3	64,25	15,33	20,42
4	62,69	17,63	19,68
Promedio	57,4	21,5	21,1

Figura 70. Distribución de tiempo trabajado en Bogotá.

Al realizar el análisis del desempeño de tiempo por empresa constructora se observa que se destaca la empresa 2, con un desempeño superior al óptimo del 64,2 % del tiempo productivo.

EMPRESA	%TP	%TC	%TNC
1	51,43	26,44	22,13
2	64,25	15,33	20,42
3	62,69	17,63	19,68

Figura 71. Distribución de tiempo trabajado en cada empresa de Bogotá.

Se debe resaltar de la empresas 2 y 3, con base en lo observado en el tiempo empleado en la toma de datos, el cumplimiento de las normas de seguridad industrial exigidas por ley para el trabajador y la demarcación de seguridad de las obras proporcionando un ambiente de seguridad y confianza en cada sitio de trabajo.

En el análisis por actividades, fueron escogidas las tres actividades con mayor número de observaciones y se realizó el estudio de la utilización del tiempo, concluyendo que la actividad con mejor desempeño fue la instalación hidrosanitaria con un 60.6% de tiempo productivo, 21.2 % de tiempo contributivo y 18.2 % de tiempo no contributivo.

ACTIVIDAD	%TP	%TC	%TNC
Mampostería	47,2	37,1	15,7
Instalación Formaleta	37,3	32,2	29,5
Instalación Hidrosanitaria	60,6	21,2	18,2

Figura 72. Distribución de tiempos por actividad en Bogotá.

Es de resaltar que en la instalación hidrosanitaria la mano de obra es especializada y el mismo personal realiza actividades productivas y contributivas. En la actividad de mampostería es importante resaltar la colaboración de personal adicional exclusivo para actividades contributivas como transporte de material al sitio de trabajo, armada de andamios, ubicación de ejes, control de mediciones y preparación de la mezcla, debido a la gran cantidad de tareas contributivas afines a esta actividad.

Después de analizar los resultados presentados, se identificaron las principales causas que explican las pérdidas de tiempo en las obras, las causas de tiempo no contributivo son: tiempo de espera por sobrepoblación y falta de equipo o

herramienta, tiempo ocioso por conversaciones, uso del celular y esperas en lugares de descanso, largos recorridos por inadecuada distribución o localización de recursos y largos desplazamientos por pobres condiciones de trabajo. Las principales causas de pérdida de tiempo contributivo son: preparación de mezclas, materiales y superficie, transporte vertical y/o horizontal de materiales al sitio de trabajo y mediciones o control de alturas.

Al conocer y estudiar las principales causas que originan pérdidas de tiempo, se presentan y proponen estrategias para reducir y/o eliminar el tiempo no productivo y aumentar el tiempo productivo:

- Acertada planeación a corto y largo plazo.
- Brindar al trabajador los elementos personales de seguridad industrial como guantes, careta, tapabocas, arnés y todos aquellos necesarios para cumplir con su trabajo de manera tranquila y segura, contando además con la debida demarcación de seguridad en la obra, evitando riesgos y accidentes de trabajo.
- Localizar acopio de materiales estratégicamente, teniendo en cuenta el lugar final de llegada para evitar grandes e ineficientes recorridos.
- Programar mantenimientos preventivos de herramientas y equipos utilizados en obra y tener en lo posible reservas de estos en el almacén.
- Organizar el tiempo de trabajo y descanso del personal, para evitar sobrepoblación y pérdidas de tiempo en sitios de descanso.
- Disponer de personal exclusivo para colaborar con actividades contributivas y organizarlo en la obra según su necesidad; este personal puede realizar tareas como ubicación de andamios, transporte de materiales, medición y ubicación de ejes, entre otra.

Los resultados de medición de tiempos obtenidos en Bogotá año 2005 comparado con los resultados de Chile en 1995 muestran en Bogotá niveles

mas altos de productividad categorizado como normal con tendencia cercana a óptimo. Es de resaltar que hay tiempo no productivo con el cual se puede trabajar para reducir o eliminar en las obras.

Para la realización de un sistema de referencia de construcción en Bogotá, es indispensable contar con el personal y tiempo necesario para obtener el número de observaciones que se consideren estadísticamente válidas con un intervalo de confianza superior al 80%.

6.5.1 EAFIT-GESCON.

El grupo de investigación **GESCON** de la *Universidad Eafit de Medellín*, desarrolló un proyecto con varias empresas constructoras del País para mejorar y agilizar algunas actividades realizadas en las obras de construcción.

En las construcciones se hacen mediciones de avance de la obra y de productividad de los obreros, estas mediciones las realizan Practicantes de Ingeniería Civil de la Universidad Eafit y en otros casos un Maestro de Obra o Supervisor. Para la medición de productividad se hacen rondas escogiendo trabajadores al azar y se cronometran 5 minutos, de esos cinco minutos se miden cuantos fueron de tiempo contributivo (labores que contribuyen a la obra pero no están asignadas al obrero como: transporte, preparaciones, limpieza), tiempo no contributivo (actividades de reproceso, descanso, espera, etc) y tiempo productivo (realización de la tarea asignada). Estos datos se consignan en un formulario.

Este proceso genera muchos formularios que luego debían ser ingresados manualmente a tablas en Excel para permitir que el Director de obra realizara labores administrativas como autorización de pagos, indicadores de desempeño, etc.

Para la medición de avance un supervisor recorre la obra y según la planeación va consignando el estado de la obra (medida y estado). Por ejemplo, una de las tareas planeadas es construir una pared de 5 mts de ancho por 2.5 mts de alto,

el supervisor va a la pared y mide 3 mts x 3mts, y así se va obteniendo el avance de las actividades. El pago de los obreros se hace según las actividades que haya realizado, para cada actividad se define un precio según la obra.

Estos formularios se diligenciaban manualmente, en la obra y luego se digitaban en plantillas de documentos Word o Excel, ambas labores tomaban demasiado tiempo y generalmente no se realizaban con una frecuencia regular lo cual impedía conocer inmediatamente el estado real de la obra.

Como solución a esto, el grupo de investigación **GESCON**, propuso a las empresas Constructoras con las que está asociada el uso de dispositivos móviles para la toma de datos, para que a medida que se van tomando sean enviados a un servidor y cada empresa pueda acceder por medio de una aplicación Web para conocer inmediatamente el estado de la obra.

Se desarrolló (*VIA Soluciones Móviles*) una plataforma integral en la cual se manejan varios procesos que facilitan el manejo y análisis de información de las obras de construcción, además ofrece los siguientes beneficios:

- Permite registrar y procesar ágilmente los tiempos de productividad, la medición de avances y registro de actividades en el lugar de la obra, mediante el uso de dispositivos móviles PDA.
- Acceder desde el dispositivo móvil a listas de chequeo para verificar el cumplimiento de diferentes estándares de calidad o gestión ambiental.
- Disponer en tiempo real de las estadísticas de productividad para que el director de la obra pueda detectar a tiempo cuales son las actividades no contributivas más reiterativas de la obra y tomar medidas correctivas.
- Disponer de los avances de la obra en cualquier momento, para ser consultados por los directivos involucrados con la financiación de la obra y otros administradores.
- Registrar las actividades realizadas por cada obrero para facilitar el proceso de pago.

- Disponer de indicadores que permitan realizar una estimación mas acertada en tiempo y dinero para próximos proyectos.
- Acceder a datos estadísticos e indicadores para apoyar las decisiones tomadas.
- Consultar en el dispositivo móvil listas de chequeo de calidad, gestión ambiental y seguridad industrial para verificar el cumplimiento de diferentes estándares en beneficio al proceso de producción.
- Detectar desde la planeación los inconvenientes que se puedan presentar (por ejemplo restricciones de herramientas, maquinarias, permisos) y definir acciones de manera proactiva que aporten beneficio a la obra.

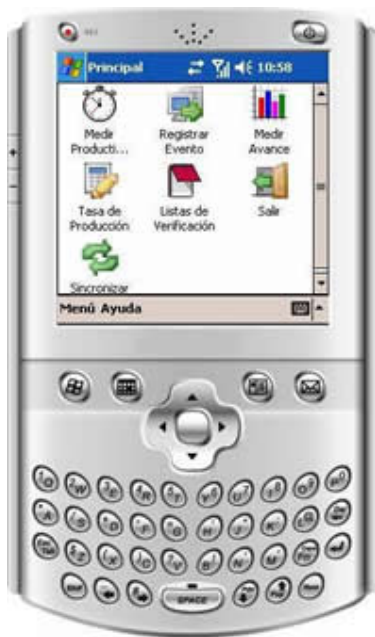
**Menú Principal****Lista de Verificación**

Figura 73. Aplicación Móvil.

CONCLUSIONES

- La competitividad creciente en el mercado de la construcción hace que las empresas del sector se vean obligadas a mejorar sus estructuras organizacionales y sus metodologías de trabajo con respecto a su competencia estableciendo parámetros que desde el punto de vista global del desarrollo de proyecto evalúan todas las actividades por medio de los principios de la *Filosofía Lean Construction*.
- Para desarrollar un sistema Gestión en las empresas de Construcción es necesario estudiar las actividades financieras, técnicas, de impacto ambiental, riesgos, normativas, y gestión asociadas con el desarrollo de proyectos de construcción, incluyendo conceptos de negocio y de construcción, así como estrategias de marketing que permitan el funcionamiento continuo y lucrativo de la empresa constructora.
- La identificación de pérdidas y la cultura de medición se constituyen en el principio de la implementación de la filosofía Lean, con lo cual se inicia un proceso de cambio y de nueva concepción de la organización, esto siempre y cuando la alta dirección y el personal encargado de las decisiones y la planificación esté comprometido y capacitado para dirigir las nuevas estrategias de gestión.
- El análisis de las pérdidas de productividad debe realizarse individualmente a los diferentes proyectos de construcción dado que estos son tareas únicas, e involucran cierto nivel de incertidumbre, para la administración y gerencia las organizaciones ejecutadas dividirán cada proyecto en fases dependiendo del ciclo de vida del proyecto y a las características singulares de los diferentes procesos constructivos.

- El modelo de planificación Last Planner® cambia el enfoque de producción, en el que se planifican las actividades según lo que debe hacerse, por otro en el que se remueven las restricciones, después de lo cual se planifican las actividades que pueden ejecutarse, rebajando así la incertidumbre en la planificación, aumentando la confiabilidad de los sistemas de planificación de las organizaciones que lo ponen en práctica como se muestra en la evolución constante de los PAC de los diferentes ejemplos mostrados.
- El establecimiento del sistema Benchmarking incorpora a las empresas el aprendizaje sobre el mejoramiento de los procesos, además crea una cultura de medición del desempeño e intercambio de costumbres, lo cual ofrece la posibilidad de pensar en el futuro, aprendiendo de los demás mediante el intercambio de conocimientos, ideas y prácticas, todo el fin de mejorar el rendimiento de la organización.
- La importancia de establecer parámetros de gestión de conocimiento en las empresas puede facilitar la aplicación de los conceptos de la filosofía Lean y hacer que las aplicaciones y los resultados obtenidos no se pierdan después de los terminados los proyectos estudiados, sino que sirvan de base a un aprendizaje continuo de las organizaciones, generando un valor agregado a los resultados de futuros proyectos.
- En las organizaciones para la implementación de la filosofía lean, los principios de construcción sin pérdidas deben establecerse en la planeación estratégica general, para que todas las unidades operativas de la empresa sigan el mismo camino, y que los principios no sean exclusivos para los procesos de obra.

- La planeación, el control y la cultura de medición de los procesos a través de tecnologías de información muestra ser una herramienta valiosa para identificar pérdidas, mejorar procesos, analizar resultados y mejorar los resultados de los proyectos y por tanto mejorar la competitividad de las organizaciones.

RECOMENDACIONES

- El compromiso gerencial y administrativo en el desarrollo del plan maestro y en el modelo de planificación-ejecución-seguimiento y control de los procesos es fundamental para la consecución de resultados, ya que la planificación a largo plazo es la base de todo el desarrollo del proyecto, aunque la planificación como función de la administración debe enfocarse en el corto plazo para el análisis de pérdidas, planteando así que las metodologías propuestas no deben ser solo aplicadas a los procesos constructivos propiamente dichos sino también a los procesos de diseño, administración y calidad de los proyectos.
- Las metodologías propuestas pueden adaptarse al tipo de proyecto y organización que desee implantarlo, aunque por tratarse de proyectos únicos, es necesario analizar la posible variabilidad de acuerdo a las condiciones particulares de estos.
- El sistema de análisis de pérdidas no solo se puede aplicar a los procesos constructivos en empresas constructoras, también tienen gran valor para procesos en empresas tales como las de consultoría, diseño e interventoras, entre otras, donde estas metodologías pueden aumentar la productividad de sus procesos.
- Los procesos de Benchmarking muestran ser de gran importancia en países desarrollados en la industria de la construcción, sería valioso establecer espacios locales y regionales para iniciar un sistema de mejora continua a través del aprendizaje colectivo de diferentes organizaciones.

BIBLIOGRAFIA

SERNA GOMEZ, Humberto - **GERENCIA ESTRATÉGICA** - 3RA EDICIÓN 2006-CAP 13.

BOTERO BOTERO, Luis Fernando y ÁLVAREZ VILLA, María, **Last Planner, un Avance en la Planificación y control de Proyectos de Construcción**, estudio de la Universidad del Norte, 2005, Colombia.

BOTERO, Luis Fernando, ALVAREZ, Martha Eugenia. **LAST PLANNER: AN ADVANCE IN PLANNING AND CONTROLLING CONSTRUCTION PROJECTS. CASE STUDY IN THE CITY OF MEDELLIN.**

BALLARD, Glenn, **Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control**, Quinta Conferencia Anual del Lean Construction, 1997, Australia.

BOTERO BOTERO, Luis Fernando. **CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS**. 2 ed. Bogotá: Legis, 2006.

PINHEIRO FANTINATTI Pedro Augusto; DENIS GRANJA Ariovaldo. **GESTÃO DO CONHECIMENTO EM EMPRESAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL: O DESAFIO DE SEU COMPARTILHAMENTO**. Simposio Brasileiro de Gestão e Economía da Construção IV SIBRAGEC. Encontro Latinoamericano de Gestão e Economía da Construção I ELAGEC. 2005.

GARVIN David **Harvard Business Review - GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO**, Pag 51. **Dooley; RUNGTUSANATHAM**, 2001, p. 352. **CHOI; Dooley; RUNGTUSANATHAM**, 2001, p. 355.

BASTOS COSTA, Dayana; REZENDE LIMA, Helenize Maria; BERTOTTO BARTH, Karina e TORRES FORMOSO, Carlos. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INDICADORES PARABENCHMARKING NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UTILIZANDO UMA ABORDAGEM DE APRENDIZAGEM**. III Encontro De Tecnologia de Informacção E Comunicação Na Construção Civil, Porto Alegre, 11 e 12 de Julho De 2007.

FLORIO Wilson. Universidad e Presbiteriana Mackenzie, rua itambé 45 prédio 9, 2114-8313. **CONTRIBUICOES DO BUILDING INFORMATION MODELING NO PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA**.

FERREIRA, Rita Cristina; TOLEDO SANTOS, Eduardo. **LIMITAÇÕES DA REPRESENTAÇÃO 2D NA COMPATIBILIZAÇÃO ESPACIAL EM PROJETOS DE EDIFÍCIOS E A APOSTA NO CAD 3D COMO SOLUÇÃO**. III Encontro De Tecnologia de Informacção E Comunicação Na Construção Civil, Porto Alegre, 11 e 12 de Julho De 2007.

TOLEDO SANTOS, Eduardo. **UMA FERRAMENTA DE REALIDADE VIRTUAL PARA O PROJETO DE CANTEIRO DE OBRAS**. III Encontro De Tecnologia de Informação E Comunicação Na Construção Civil, Porto Alegre, 11 e 12 de Julho De 2007.

FLORIO, Wilson. **CONTRIBUIÇÕES DO BUILDING INFORMATION MODELING NO PROCESSO DE PROJETO EM ARQUITETURA**. III Encontro

De Tecnologia de Informacção E Comunicação Na Construção Civil, Porto Alegre, 11 e 12 de Julho De 2007.

KUREK, Juliana; CARVALHO BECKER, Alcione; STUMPF GONZÁLEZ, Marco Aurélio; PANDOLFO, Adalberto. **O BALANCED SCORECARD APLICADO À INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO.** Simposio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção IV SIBRAGEC. Encontro Latinoamericano de Gestão e Economia da Construção I ELAGEC. 2005.

KAPLAN, R. S.; NORTON, D. **A ESTRATÉGIA EM AÇÃO: BALANCED SCORECARD,** Editora Campus, Rio de Janeiro,1997.

BASTOS COSTA, Dayana; DE REZENDE LIMA, Helenize Maria; BERTOTTO BARTH, Karina e TORRES FORMOSO, Carlos. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE INDICADORES PARA BENCHMARKING NA CONSTRUÇÃO CIVIL: UTILIZANDO UMA ABORDAGEM DE APRENDIZAGEM.** Simposio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção IV SIBRAGEC. Encontro Latinoamericano de Gestão e Economia da Construção I ELAGEC. 2005.

C. A. Núñez; D. Echeverry. *Universidad de Los Andes.* **BENCHMARKING: CREACIÓN DE UN SISTEMA DE REFERENCIA EN BOGOTÁ, APLICANDO LA FILOSOFÍA LEAN.**

ALARCÓN, Luis F. Ph.D. **Lean Construction y Tecnología de Información Innovación Estratégica para la Construcción.** CENTRO DE EXCELENCIA EN GESTIÓN DE PRODUCCIÓN UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE.

KUREK Juliana; PANDOLFO Adalberto; LONDERO BRANDLI Luciana; MARCONDES PANDOLFO Luciana; JIMÉNEZ ROJAS José Waldomiro. **DIAGNÓSTICO PARA IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA.** Simposio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção IV SIBRAGEC. Encontro Latinoamericano de Gestão e Economia da Construção I ELAGEC. 2005.

KUREK Juliana; PANDOLFO Adalberto; LONDERO BRANDLI Luciana; MARCONDES PANDOLFO Luciana; JIMÉNEZ ROJAS José Waldomiro. **IMPLANTAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO ENXUTA EM UMA EMPRESA CONSTRUTORA.** Simposio Brasileiro de Gestão e Economia da Construção IV SIBRAGEC. Encontro Latinoamericano de Gestão e Economia da Construção I ELAGEC. 2005.

CONCRETO – We Build Future with Humanity. Pps.