UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean (Construcción Esbelta) en proyectos de construcción

**Jhonattan Guillermo Tercero Martínez Ribón**

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Administración y contaduría
Bogotá, Colombia

2011

# Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean (Construcción Esbelta) en proyectos de construcción

**Jhonattan Guillermo Tercero Martínez Ribón**

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Administración

Director:
Ingeniero Guillermo Ospina Varón

Codirector:

Ingeniero Luis Alejandro Rodríguez Ramírez

Línea de Investigación:
Administración de las Operaciones y la Producción

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Económicas, Escuela de Administración y Contaduría
Bogotá, Colombia

2011

# Resumen

El objeto de estudio de este documento es la consecución de una metodología que permita aplicar la filosofía Lean a proyectos de construcción colombianos, teniendo en cuenta el modelo de planeación y ejecución tradicional. La investigación se realizó a dos proyectos de construcción en los cuales se encontró que existían las mimas perdidas y por lo tanto los mismos efectos en la productividad. Los hallazgos encontrados en ellos sirvieron para construir la metodología y luego si aplicarla a un proyecto de construcción el cual arrojó resultados favorables en la disminución de los tiempos no contributivos, logrando así la mejora en la productividad.

**Lean:**

**Productividad:**

**Calidad:**

**Construcción:**

# Abstract

The object of study of this paper is to obtain a methodology to implement Lean philosophy Colombian construction projects, taking into account the model of traditional planning and execution. The research was conducted at two construction projects in which it was found that there were the mimas lost and therefore the same effects on productivity. The findings were used to build them and then if the methodology applied to a construction project which yielded favorable results in reducing non-contributory times, thus improving productivity.

**Keywords:**

**Lean:**

**productivity:**

**quality:**

**construction:**

# Contenido

**Pág.**

**Resumen** ..... **I**

**Lista de figuras**..... ¡Error! Marcador no definido.**V**

**Lista de tablas** ..... **V**

**Introducción**..... ¡Error! Marcador no definido.

**1. Capitulo 1 Marco Teórico**……. 4

1.1 Productividad ……..……...…… 4

1.2 Producción Lean ……..…….. 4

1.2.1 Justo a Tiempo……..…… 6

1.2.2 Control total de la calidad…… ……. 6

1.2.3 Conceptos relacionados con la producción Lean …… 6

1.3 Procesos de producción…….……. 7

1.3.1 Modelo de producción convencional ……...……...…… 8

1.3.2 Nuevo modelo de producción para la construcción ……..…. 9

1.3.3 Implementación de la filosofía Lean ……...……..…… 11

1.4 Pérdidas en el proceso de producción ……..…….. 12

1.5 Medición de los tiempos para la identificación de pérdidas ……..…. 13

1.6 Estado actual del problema…….…….…… 14

1.6.1 Experiencia colombiana……..…….…… 14

1.6.1.1 Resultados medición de tiempos productivo y contributivo……. 15

**2. Capítulo II - Metodología de Investigación**……...……. 20

**3. Capítulo III - Caracterización y análisis de los proyectos objeto de estudio**.... 24

3.1 Servicio de mantenimiento, adecuación y ampliación del Archivo Central de la Base Naval A.R.C Bolívar ……..…….. 24

3.2 Remodelación del centro zonal ICBF ……..... 30

3.3 Triangulación de la información de los proyectos objeto de estudio…….……... 37

4 **Capítulo IV- Ruta de planeación y ejecución para proyectos de construcción basado en la Filosofía Lean..……..** 39

4.1 Sensibilización sobre lean Construction ……..……..…… 39

4.2 Revisión y determinación de los requisitos del cliente…….…..……... 39

4.3 Elaboración del diseño ……. 40
4.4 Indicadores de medición de la productividad…….……..…….. 41
4.5 Elaboración del cronograma……..…….…… 42
4.6 Plan de Recursos Humanos…….…… 45
4.7 Selección de los proveedores de recursos……..…….……..…… 48
4.8 Elaboración y aplicación de herramientas para la identificación y la reducción de pérdidas en los proyectos de construcción…….…….. 49
4.8.1 Diagrama de Pareto …….……... 49
4.8.2 Diagrama Causa Efecto …….…….……... 50
4.8.3 Muestreo del trabajo …….…….…..…… 51
4.8.4 Encuestas de detenciones y esperas……..…….. 51
4.8.5 Encuestas de identificación de pérdidas ……..……..…..…… 52
5 **Capitulo V Proyecto objeto de aplicación de la metodología Lean** …...…...…… 54
5.1 Sensibilización y determinación de los requisitos del cliente …….…….…… 54
5.2 Indicadores de medición de la productividad…….…….…… . 56
5.3 Cronograma……...……... 57
5.4 Selección de los proveedores…….. 58
5.5 Distribución y asignación de responsabilidades por cuadrillas……..….. 60
5.6 Identificación y reducción de pérdidas en el proyecto de construcción …..…… 61
6. Conclusiones…… 65
**A. Anexo:** Marco Teórico y Estado Actual Del Problema…….67
**B. Anexo :** Proyecto Servicio De Mantenimiento, Adecuación y Ampliación del Archivo Central de La Base Naval A.R.C Bolívar……..74
**C. Anexo:** Remodelación del Centro Zonal ICBF ……. 78
**D. Anexo:** Triangulación de la Información……..…… 79
**Bibliografía……..…… 81**

# LISTA DE FIGURAS

**Pág.**

Figura 1-1. Modelo convencional de producción en la industria de la construcción……. 7

Figura 1-2. Esquema de proceso de producción, conversión y flujo ……...….10

Figura 1-3. Distribución de tiempos laborado en obra en Colombia 2003-2005……..….15

Figura 1-4. Distribución de tiempos laborado en obra en Colombia 2003-2005 ……15

Figura 1-5. Distribución de tiempos laborado en obra Bogotá ……..…….16

Figura 1-6. Distribución de tiempos laborado en obra Manizales ……...……..16

Figura 1-7. Categoría de tiempos no contributivos en Colombia …….…….17

Figura 1-8. Causas de las esperas en Colombia …….18

Figura 1-9. Categorías del tiempo contributivo en Colombia…….…….19

Figura 2-1. Metodología utilizada para la investigación ……..…..……..23

Figura 3-1. Acumulado de pérdidas semanales Proyecto 1 …….…….….28

Figura 3-2 Diagrama de Pareto- Tipo de pérdida y su frecuencia proyecto 1 …...…..…..29

Figura 3-3. Acumulado de pérdidas semanales (Horas)- Proyecto 2 …….…..…34

Figura 3-4 Diagrama de Pareto- Tipo de pérdida y su frecuencia proyecto 1 ……..…… 35

Figura 3-5 Comparación de las causas de las pérdidas en los proyectos objeto de estudio…… 37

Figura 4-1. Diagrama Causa Efecto……..……..50

Figura 5-1. Acumulación de pérdidas semanales (Horas)…….……..…… 62

Figura 5-2. Tipos de pérdidas en el proyecto objeto de .estudio…… 63

Figura 5-3. Acumulado de pérdidas en los procesos constructivos en horas y sus causas…… 63

# LISTA DE TABLAS

**Pág.**

Tabla 1: Tabla Productividad Flujo / Valor……..….. 7
Tabla 2. Caracterización del proyecto 1 ……..……..…….. 24
Tabla 3. Distribución de cargos Proyecto 1 ……...…… 26
Tabla 4. Caracterización del proyecto 2 ……..…… 30
Tabla 5. Etapas de investigación del proyecto 2 ……..…… 30
Tabla 6. Etapas de investigación del proyecto 2 ……..……32
Tabla 7. Pautas para gestionar los diseños ……..……..…… 40
Tabla 8. Indicadores de medición de la productividad en proyectos de construcción… 41
Tabla 9. Etapas del proceso de planeación de proyectos ……..…….. 43
Tabla 10. Registro de planificación semanal de proyectos……..…… 44
Tabla 11. Registro de planificación Intermedia de proyectos ……..…… 44
Tabla 12. Plan de Recursos Humanos …….. 46
Tabla 13. Perfil del personal requerido en los proyectos de construcción ……..…… 46
Tabla 14. Proceso de Aprendizaje Organizacional ……..46
Tabla 15. Requisitos para selección de los proveedores ……..…… 48
Tabla 16. Distribución de tiempos en los proyectos de construcción…… 50
Tabla 17. Formato de registro de tiempos en los proyectos de construcción……..… 51
Tabla 18. Formato de encuesta sobre las pérdidas en los procesos de construcción ……... 51
Tabla 19. Encuesta para la reducción de pérdidas en los procesos constructivos……. 52
Tabla 20. Caracterización del proyecto objeto de estudio……..…… 54
Tabla 21. Programa de capacitaciones ……..…….. 55
Tabla 22. Indicadores de medición para el proyecto ……..……. 56
Tabla 23. Programación de reuniones del proyecto ……..……. 58
Tabla 24. Parámetros para la escogencia de los proveedores ……..…… 59
Tabla 25.Asignación de cuadrillas a las actividades del proyecto …….. 60
Tabla 26. Resultados de la medición de tiempos no productivos en el proceso constructivo…….. 61

# Lista de Anexos

**Pág.**

**A. Anexo:** Marco Teórico y Estado Actual Del Problema ……..……. 67

**B. Anexo :** Proyecto Servicio De Mantenimiento, Adecuación y Ampliación del Archivo Central de La Base Naval A.R.C Bolívar……..…… 74

**C. Anexo:** Remodelación del Centro Zonal ICBF ……..……..…… 78

**D. Anexo:** Triangulación de la Información……..……79

# Introducción

Sin duda el sector de la construcción es un componente significativo en la economía de Colombia. Su participación en el PIB colombiano en el 2009 fue de un 4.78%. Transcurridos el tercer trimestre del 2011 alcanzaba un 4.96% (Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE), siendo uno de los sectores que mayor crecimiento ha experimentado en los últimos años. En cuanto a la generación de empleo esta aporta un 5% del total empleos en Colombia que corresponden a 920.00 personas.

Esta industria se desarrolla siguiendo muchos de los paradigmas administrativos, los cuales durante mucho tiempo han sido inexpugnables en su estructura; ejemplo de ello es la no implementación de muchas herramientas administrativas que sirven para mejorar la productividad en los procesos, y que en otras industrias han servido para mejorar el desempeño de los mismos, siendo un claro ejemplo la industria manufacturera, la cual a través de la aplicación de herramientas de gestión como el Lean Production, JIT[1] y otras han logrado mejorar su índice de productividad.

El sector de la construcción se ve afectado e influenciado por agentes internos y externos los cuales influyen notablemente en el normal desarrollo del proceso constructivo, ejemplo de ello son las condiciones climáticas, los proveedores, los contratistas entre otros, los cuales ocasionan pérdidas en el debido desarrollo de un proyecto de construcción. Esto se debe a la escasa planeación o ausencia total de la misma, paradigmas muy arraigados y control de estos agentes basados solo en la experiencia y sin la utilización de herramientas de gestión. Estos factores van en detrimento de la productividad en los procesos, siendo este un indicador muy importante para medir la competitividad del sector a nivel nacional y mundial. Es por ello que la mejora en la productividad de un proyecto de construcción es uno de los principales retos que hay que lograr; actualmente existen falencias y brechas que superar las cuales ocasionan que esa industria carezca de un potencial efectivo aplicable en la competitividad suficiente con respecto a otros sectores de la economía colombiana.

[1] Sistema de producción Justo a tiempo

La productividad en la construcción se atribuye, tanto a las conversiones como a los flujos, en las actividades de conversión depende del nivel de tecnología, las destrezas, la motivación, etc. Y en las actividades de flujo depende de las cantidades de las mismas y la eficiencia con que estas interactúan con las conversiones. Los flujos pueden caracterizarse por su costo, tiempo y valor, y este último es el cumplimiento de los requerimientos del cliente

Según Camacol (2005), más del 70% de los proyectos de construcción que se realizan en Colombia incumplen su cronograma de ejecución, el 85% de estos tienen sobrecostos en el proceso constructivo y el 63,4% de los proyectos se produce accidentabilidad por el no cumplimiento de las normas de Seguridad Industrial. Este estudio concluyo que la principal causa de los anteriores problemas es la falta de gestión y la no aplicación de nuevas herramientas administrativas que permitan hacer de la industria de la construcción competitiva a nivel nacional y mundial.

Según Ciampa (1991), solo del 3% al 20% de las actividades realizadas en los procesos constructivos agregan valor (Actividades de Trasformación), el otro resto de actividades se distribuyen en esperas (Demoras en el proceso constructivo por falta de materiales, herramientas y equipos en el sitio de la obra), transportes y re-procesos los cuales no agregan valor, es decir, disminuyen la productividad del proceso por no considerarse de trasformación. Las actividades que agregan valor representan entre el 0,5% y el 5% del tiempo utilizado en el proceso constructivo, el resto representa actividades que no lo agregan, es decir que representan desperdicio. Según un estudio de Camacol (2005), si trasladamos esto a cifras económicas, un operario que trabaja aproximadamente en una jornada laboral 8 horas a un valor de $ 25.000, estaría utilizando máximo 1,6 horas para procesos de transformación, el resto de tiempo lo utiliza en esperas, transportes y re-procesos.

| | Unidad | Cantidad | Utilización de recursos en actividades que generan valor | Utilización de recursos en actividades que no generan valor |
|---|---|---|---|---|
| Duración de Jornada Laboral | Hora | 8 | 1,6 | 6,4 |
| Costo Día laboral promedio de un operario | $ | 25.000 | 5000 | 20000 |

Fuente: Camacol (2005). Informe Económico. Abril

La tabla anterior demuestra que hay una pérdida enorme de recursos económicos y de tiempos en el proceso constructivo, todo esto se ve reflejado muchas veces el no cumplimiento del cronograma propuesto para el proyecto, sobrecostos en las actividades de construcción y multas por retrasos e incumplimientos.

Autores como Botero (2005), plantean que uno de los problemas más grandes de la construcción es su baja tasa de productividad, que en comparación con la industria manufacturera, la cual supera en este aspecto; esto se debe a la poca eficiencia en el uso de sus recursos (mano de obra, materiales y equipos) y la no aplicación de herramientas de gestión que ayuden a mejorar este aspecto.

La implementación de herramientas de gestión en la industria de la construcción en Colombia se hace imperativo, las cifras anteriormente expuestas por Camacol (2005), Botero (2005) y Ciampa (1991) demuestran que existe una pérdida considerable en los recursos utilizados en el proceso constructivo, llevando a esta industria a tener problemas de competitividad a nivel mundial; es por ello que en esta tesis se pretende crear una propuesta metodológica para la implementación de la filosofía Lean en el sector de la construcción, la cual permita a las empresa tener una ruta clara de actividades a realizar para mejorar la productividad en el proceso constructivo, dado que es necesario adaptar esta filosofía al contexto socio cultural colombiano y al modelo de planeación y ejecución utilizado en las industrias de la construcción.

# 1. Capítulo I - Marco Teórico

## 1.1 Productividad

La productividad es una relación entre la cantidad producida y los recursos empleados. Sin embargo, la productividad no se puede concebir sin que exista un alto estándar de calidad, es decir la productividad involucra eficiencia y efectividad (Serpell, 2002).

En la construcción existen diferentes clases de productividad de acuerdo con el tipo de recurso utilizado, así:

• Productividad de los materiales.
• Productividad de la mano de obra.
• Productividad de la maquinaria y/o equipos.

Los cuales al interactuar representan la productividad de la construcción.

En la construcción se han detectado diferentes factores que afectan la productividad (Véase Anexo A), los cuales generalmente recaen sobre la falta de información o incomprensión de lo que el cliente realmente está esperando, la coordinación entre los diseñadores, contratistas y contratante, la planeación y el control de la planeación.

La productividad tiende a aumentar cuando los procesos son repetitivos y el tiempo empleado para la realización de los mismos disminuye, lo anterior se debe al fenómeno del aprendizaje y generación de conocimiento. Véase Anexo A

## 1.2 Producción Lean

El sistema de producción *Lean* fue desarrollado en Toyota por el ingeniero Ohno después de la Segunda Guerra Mundial, con el propósito de eliminar los desperdicios.

El sistema de producción de Toyota se enfocó en producir los automóviles de acuerdo con los requerimientos de los clientes, entregarlos en el tiempo justo y sin mantener inventarios para la producción. La idea básica del sistema de producción de Toyota es la

eliminación de los inventarios y cualquier otro desperdicio, a través de un lote pequeño de producción, tiempos reducidos de alistamiento, máquinas de producción semiautónomas y alianzas estratégicas con los proveedores.

Desperdicio fue definido como la falla en cumplir con los requerimientos del cliente, no entregar el producto a tiempo o tener un inventario improductivo, es decir un inventario que no esté en proceso.

Por lo tanto, en la producción *Lean* es fundamental la coordinación entre la línea de producción y las cadenas de suministro (proveedores) para entregar el producto en el momento justo, cumpliendo los requerimientos del cliente y sin inventario.

Los principios *Lean* son:

- Especificar claramente el concepto de valor desde la perspectiva del cliente.
- Identificar claramente la cadena de valor y eliminar todos los pasos que no agregan valor al producto.
- Lograr que los pasos que generan valor ocurran sin interrupciones mediante una eficiente gestión entre
- las interfaces de los diferentes pasos.
- Permitir que el cliente extraiga valor del equipo de proyectos.
- Buscar de manera continua la perfección (eliminar constantemente las pérdidas).

La clave de la visión de flujo radica en la eliminación del desperdicio de los procesos de flujo. Por lo tanto, los principios de reducción del tiempo de entrega, reducción de la variabilidad y simplificación de los procesos son promovidos en el pensamiento Lean. Otro pilar de la Producción Lean es la visión de generación de valor, la cual radica en obtener desde la perspectiva del cliente el mayor valor posible.

### 1.2.1 Justo a Tiempo

El punto de partida de la nueva filosofía de producción fue en la ingeniería industrial. La idea radicaba en la eliminación de inventarios, esto a su vez le dio paso a otras técnicas forzadas por la disminución del inventario, entre las cuales se tienen: reducción de los lotes de producción, alianzas estratégicas con los proveedores y reducción del tiempo de inicio. Adicionalmente, se introdujo la producción tipo *pull* (jalar), en la que la producción se inicia con base en la demanda actual y no con base en planes estadísticos.

El concepto de desperdicio (pérdida) es la piedra angular del Justo a Tiempo. Las siguientes pérdidas o desperdicios en los procesos productivos fueron descubiertos por Shingo (1984)[2]: sobreproducción, esperas, transportes, exceso de maquinaria, inventarios, movimientos, partes y productos defectuosos.

La eliminación de las pérdidas a través del mejoramiento continuo de los procesos, las operaciones y la tecnología es otro principio fundamental del Justo a Tiempo.

### 1.2.2 Control total de la calidad

El punto de partida para el control de la calidad se basó en la inspección de las materias primas y los productos mediante métodos estadísticos. La calidad ha evolucionado de la inspección al control de los procesos, del control de los procesos al mejoramiento continuo de los mismos, y finalmente a diseñar la calidad en el producto y los procesos de producción.

### 1.2.3 Conceptos relacionados con la producción Lean

A partir de la utilización de los métodos Justo a Tiempo y el Control Total de la Calidad, han surgido algunos conceptos que complementan el modelo de gestión basados en los principios *Lean*:

---

[2] Koskela, L. (1992). Aplication of the new production philosophy to construction. CIFE *Technical Report* , Pag.6

- Mantenimiento productivo total.
- Participación de los empleados.
- Mejoramiento continúo.
- Referenciación o *benchmarking.*
- Competitividad basada en el tiempo.
- Ingeniería concurrente.
- Estrategia o gestión basada en el valor del producto.
- Gestión visual.
- Reingeniería.

La concepción de la producción *Lean* ha evolucionado de un grupo de herramientas, a un método de manufactura y finalmente a una filosofía de gestión de la producción.

## 1.3 Procesos de producción

Los procesos de producción se pueden concebir de tres maneras diferentes:

- Como un proceso en el que existe una conversión de entradas en salidas.
- Como un flujo de materiales e información a través del tiempo y el espacio.
- Como un proceso de generación de valor para los clientes.

Las tres concepciones son apropiadas. Sin embargo, el modelo de conversión es el que ha predominado en la industria de la construcción.

**Tabla 1-1:** Tabla Productividad Flujo / Valor

| | Modelo de conversión | Modelo de flujo | Modelo de generación de valor |
|---|---|---|---|
| **Naturaleza de la construcción** | Serie de actividades que convierten entradas en salidas. | Flujos de información y recursos. Compuestos por conversiones, inspecciones, transportes y esperas. | Proceso de creación de valor que cumple con los requerimientos del Cliente |
| **Principios** | Descomposición jerárquica de las actividades. Control y optimización por actividad. | Descomposición por nudos o uniones. Eliminación de las pérdidas (actividades Innecesarias), reducción del tiempo. | Eliminación de la pérdida de valor. Disminución de la brecha entre el valor conseguido y el valor posible. |
| **Métodos y prácticas** | Estructura de trabajo por divisiones, método de la ruta crítica. Planeación realizada conforme al inicio de las actividades y responsabilidad de las actividades por contratos o asignaciones. | Trabajo en equipo, reducción rápida de la incertidumbre. Planeación realizada conforme a la calidad y a la liberación de trabajo. | Desarrollo y ensayo del producto final de acuerdo con los medios para cumplir con los requerimientos del cliente. Planeación relacionada con la estructura de trabajo, los procesos y la participación. |
| **Contribución práctica** | Tiene en cuenta que las cosas necesarias se hagan. | Tiene en cuenta que lo innecesario se haga lo mínimo posible. | Tiene en cuenta que los requerimientos del cliente se cumplan de la mejor madera posible. |

Fuente: Ballard, Hernan. The Last Planer system of production control

### 1.3.1 Modelo de producción convencional

El modelo de conversión es el que ha dominado la industria de la construcción. El modelo convencional considera unas entradas, la transformación (conversión) y finalmente unas salidas.

**Figura 1-1:** Modelo convencional de producción en la industria de la construcción

Fuente: Botero. Luis F (2006). Construcción sin pérdidas.

En la visión del proceso de conversión convencional, este se puede dividir en subprocesos, los cuales a su vez son procesos de conversión convencionales. El costo total del proceso se puede minimizar, minimizando el costo de cada subproceso. Según Koskela, las dos aseveraciones anteriores están estrechamente relacionadas con las teorías de control jerárquico de las organizaciones.

En el modelo de conversión, el valor de las salidas de un proceso está asociado con los costos de las entradas de ese proceso, lo que demuestra que en la filosofía tradicional el valor no es muy importante.

En los procesos de producción más complejos, entre los cuales se encuentran los procesos de construcción de obras civiles, la mayor parte de la totalidad de los costos son generados por las actividades de flujo y no por las de conversión. Una deficiente gestión en el control de los procesos, conlleva a mayores complicaciones para el mejoramiento de las actividades de conversión, las cuales generan valor.

El modelo de conversión y las actividades de desarrollo y mejora de éste, se enfocan en hacer más eficientes las conversiones, en vez de que éstas sean más efectivas desde la perspectiva del cliente, es decir, que cumplan con los requisitos del cliente. Al no

considerar las actividades de flujo, el modelo de conversión presenta algunas deficiencias evidentes en el sector de la construcción, entre las que se tienen:

Las actividades de flujo no generan valor y por ende las pérdidas en los procesos constructivos, la ausencia de planeación al mantener el esquema tradicional de producción, no permite detectarlas generando desperdicios de todo tipo en los proyectos de construcción. El 50% del tiempo de los trabajadores en el lugar de trabajo, está representando en transportes, esperas o interrupciones por falta de materiales o instrucciones, reprocesos, etc. (Botero, 2006). Desde el punto de vista del cliente, estas actividades no son necesarias, ni son importantes, ya que no generan valor.

El control de la producción se enfoca a los subprocesos, limitando la mejora de la producción a las actividades independientemente y no al proceso de construcción como un todo.

Los esfuerzos para la mejora están direccionados a que las conversiones sean más eficientes, en vez de que sean más efectivas desde el punto de vista de valor para el cliente (por lo que el cliente realmente está pagando).

### 1.3.2 Nuevo modelo de producción para la construcción

El nuevo modelo conceptual es una síntesis y la generalización de diferentes modelos, como el JIT (Justo a Tiempo) y el TQM (Gestión Total de la Calidad).

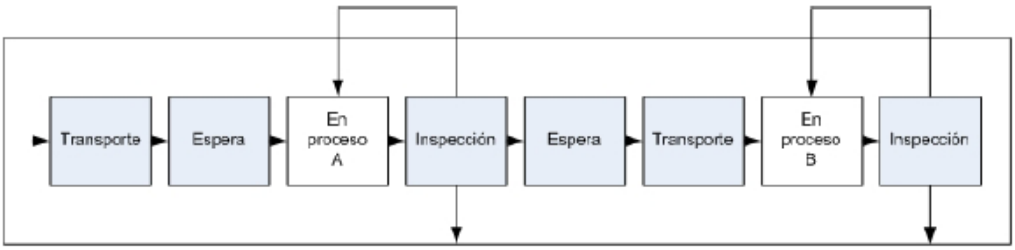
Lean Construction es una nueva filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas). Para contribuir a tal fin, Ballard y Howell diseñaron un nuevo sistema de planificación y control denominado Last planner, con cambios fundamentales en la manera como los proyectos de construcción se planifican y controlan.

El nuevo modelo de producción para la construcción, concibe la producción y sus operaciones como procesos. Koskela, lo define como un flujo de materiales y/o información desde la materia prima hasta el producto final. En este flujo, el material es

procesado (conversiones), inspeccionado, se encuentra en espera o es transportado. El procesamiento o los procesos representan el aspecto de conversión de la producción, la inspección, la espera y el movimiento representan el aspecto de flujo de la producción.

Los procesos de flujo se pueden caracterizar por tiempo, costo y valor. El valor se refiere a cumplir con los requerimientos del cliente. En la mayoría de los casos, sólo las actividades de conversión (procesamiento) son las que agregan valor.

**Figura 1-2:** Esquema de proceso de producción, conversión y flujo




Los cuadros sombreados representan las actividades que no agregan valor, en contraste con las conversiones.

Fuente: Koskela. Application of the new production philosophy to construction

El nuevo modelo de producción implica una visión dual de la producción, consistente en conversiones y flujos. La eficiencia de la producción se atribuye, tanto a las conversiones como a los flujos, en las actividades de conversión depende del nivel de tecnología, las destrezas, la motivación, etc. y en las actividades de flujo depende de la cantidad de las mismas y la eficiencia con las que éstas interactúan con las conversiones, es decir de la planeación efectuada. Planeación que por lo general no es considerada como un factor fundamental en el desarrollo de las actividades, debido al simplismo del personal a cargo y al enfoque que existe hacia las actividades de conversión como subprocesos del proceso de construcción.

Mientras todas las actividades generan costos y consumen tiempo, sólo las actividades de conversión agregan valor a los materiales o a la información que está siendo transformada en producto. <u>Las inspecciones, esperas y transportes representan los flujos dentro de la producción.</u>

Debido a los principios tradicionales de gestión, los flujos no han sido mejorados o controlados, esto ha conllevado a flujos complejos, inciertos y confusos, generando un incremento en las actividades que no generan valor.

En el control de los proyectos, el estar apagando incendios (solucionando problemas) constantemente consume los recursos de gestión, lo que deja poco tiempo para la planeación, y por lo tanto no se gestionan actividades de mejora o, peor aún, no se realiza ningún tipo de inspección o control que permita identificar las pérdidas.

Al implementar el nuevo sistema de producción se busca que las actividades de transformación, es decir las que agregan valor, sean más eficientes, así como minimizar o eliminar las actividades que no lo generan, logrando una mayor productividad del proceso constructivo.

Koskela (1992), en su reporte técnico establece algunos principios para el mejoramiento del proceso de producción, los cuales están dirigidos al proceso de planeación y ejecución de los proyectos constructivos. Véase Anexo A

### 1.3.3 Implementación de la filosofía lean.

La implementación del nuevo modelo de producción implica un cambio de paradigma, lo que naturalmente genera barreras debido a la resistencia al cambio. Sin embargo, en el reporte técnico de Koskela se presentan cuatro factores fundamentales para el éxito de la implementación:

- **Compromiso de la alta gerencia**. El liderazgo es fundamental para lograr un cambio de mentalidad a nivel general. Liderazgo que está representado en la alta gerencia, sin el cual se crean barreras naturales que detienen cualquier esfuerzo a diferentes niveles de la organización. El cambio debe ser aceptado e interiorizado desde el nivel más alto de la organización, con lo que se logra un mejor entendimiento del mismo por parte de las personas involucradas, logrando paso a paso un cambio cultural.

- **Enfoque en la medición del desempeño y las mejoras**. La gestión se debe enfocar en la medición de los procesos y el mejoramiento de los mismos y no en el desarrollo de las capacidades. Se deben tener indicadores reales de los procesos que permitan identificar las causas de las pérdidas.

- **Participación**. Para la implementación del nuevo modelo de producción, debe existir participación de los empleados, los equipos de trabajo pueden aportar ideas para el mejoramiento de los procesos.

- **Aprendizaje**. La implementación requiere del aprendizaje de los principios, conceptos, herramientas, técnicas y demás del nuevo modelo de producción. Una forma de aprendizaje es la implementación en proyectos piloto a una escala limitada. Adicionalmente, se deben transmitir los resultados de la implementación a todos los niveles de la organización.

## 1.4 Pérdidas en los procesos de producción

A través de la observación de los procesos de producción, algunos autores como: Shingeo Shingo y George W. Plossl han determinado la siguiente clasificación para las pérdidas:

- Pérdidas debidas a la sobreproducción.
- Pérdidas por tiempos de espera.
- Pérdidas por transportes.
- Pérdidas por el sistema de producción.
- Pérdidas por inventarios.
- Pérdidas por operaciones o procesos.
- Pérdidas por defectos de producción.
- Pérdidas por las personas.
- Pérdidas por el tiempo.
- Pérdidas por la burocracia de la organización.

Las pérdidas en los procesos de producción están asociadas a todo lo que sea distinto de los recursos mínimos de materiales, máquinas y mano de obra necesarios para agregar valor al producto (Alarcón, 2002).

Las principales causas que generan pérdidas en los procesos de producción en la construcción, según Serpell (2002) se encuentran en el Anexo A.

## 1.5 Medición de tiempos para la identificación de pérdidas

Poco tiempo después de la presentación del informe técnico del académico Finlandés Lauri Koskela (1992), se empezaron a realizar mediciones de los tiempos de trabajo en las actividades de construcción. El tiempo total para ejecutar una actividad ha sido clasificado de la siguiente manera por diferentes autores:

Tiempo Productivo (TP): Es el tiempo empleado en la producción de alguna unidad de construcción. El tiempo empleado en las conversiones, es decir en las actividades que agregan valor, las actividades por las que el cliente está pagando.

Tiempo Contributivo (TC): Es el tiempo empleado en las actividades de apoyo necesarias para ejecutar los trabajos que agregan valor. Los flujos necesarios como transporte, supervisión, etc., se consideran como trabajo contributivo.

Tiempo No Contributivo (TNC): Es el tiempo empleado en cualquier otra actividad diferente a las de soporte o productivas. Las esperas, los reprocesos y demás se consideran como trabajo no contributivo.

Diferentes autores consideran el tiempo de descanso y de necesidades fisiológicas como tiempo no contributivo. Sin embargo, dichos tiempos, siempre y cuando se encuentren claramente establecidos, no deberían ser considerados dentro del tiempo total empleado en la producción de unidades de construcción.

## 1.6 Estado actual del problema

La filosofía *Lean Construction* ha sido implementada con éxito desde 1993. Algunos programas exitosos de mejoramiento de gestión en construcción han sido desarrollados en: Suecia, Finlandia, Dinamarca, Inglaterra, Estados Unidos, Chile, Brasil, Indonesia, Australia, Venezuela, Ecuador, Perú y Colombia (especialmente en Medellín).

Actualmente varias compañías colombianas están capacitando al personal en *Lean Construction*.
A nivel internacional existen dos organizaciones de apoyo:

- *El Lean Construction Institute*, fue fundado en agosto de 1997 por Glenn Ballard y Greg Howell como una entidad sin ánimo de lucro. El propósito del *Lean Construction Institute* es reformar la forma de gestionar la producción en el sector de la construcción.

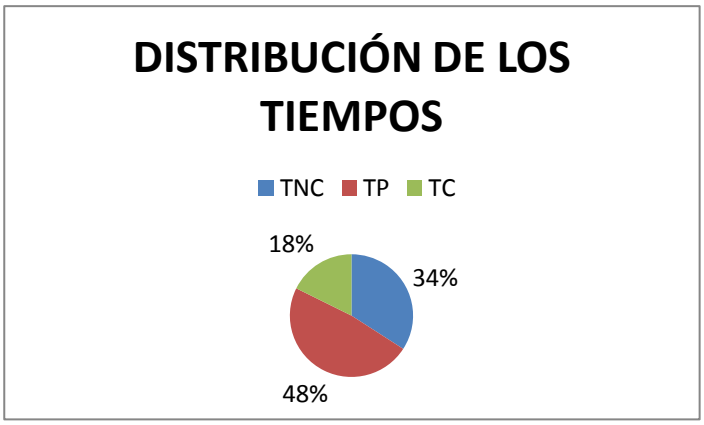
- El *Internaciotal Group for Lean Construction*, fundado en 1993 por una cadena de profesionales e investigadores del sector de la construcción. Desde el año 1993, el *International Group for Lean Construction* organiza conferencias anuales sobre los avances en la filosofía *Lean Construction*.

### 1.6.1 Experiencia colombiana

En Colombia, el área de construcción del departamento de ingeniería civil de la Universidad EAFIT de Medellín entre los años 2003 y 2005, en conjunto con un importante grupo de constructores lideró la implementación del proyecto de mejoramiento de la productividad en proyectos de vivienda de las ciudades de Medellín, Manizales y Bogotá. En el estudio se alcanzaron 4.668 unidades construidas y 353.614 m2.

### 1.6.1.1 Resultados medición de tiempos productivos, contributivos y no contributivos en Colombia

**Figura 1-3.** Distribución de tiempos laborados en obras en Colombia 2003-2005

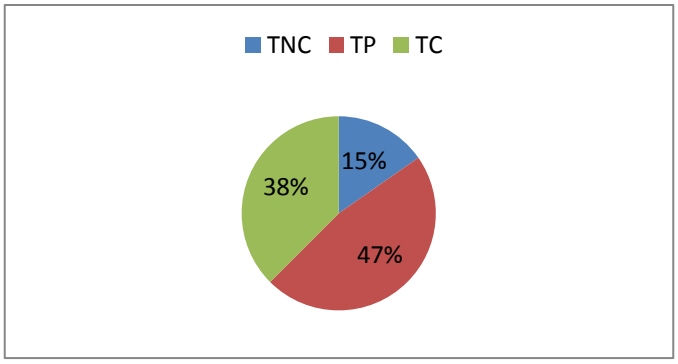



Fuente. BOTERO, Luis F. Construcción sin pérdidas

El promedio general del estudio del tiempo a nivel nacional para una muestra de 24.425 observaciones dio como resultado un 48.20% de tiempo productivo, cifra muy similar obtenida en los estudios realizados en Chile. El tiempo no contributivo arrojó un resultado del 17.7% y el tiempo contributivo del 34.1%.

El resultado general obtenido en la ciudad de Medellín para el tiempo productivo fue 47.20%, para el tiempo contributivo 37.5% y para el tiempo no contributivo 15.30%.

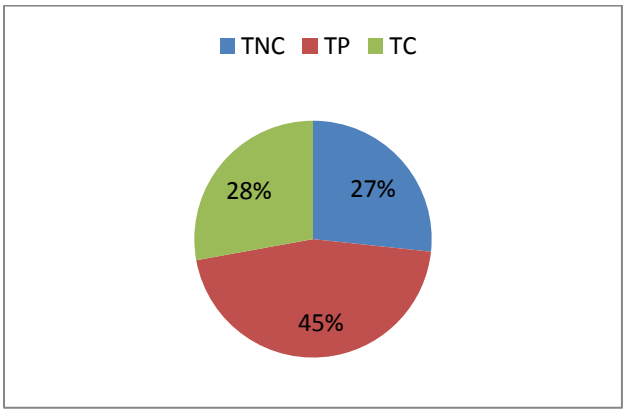
**Figura 1-4.** Distribución de tiempos laborado en obra en Colombia 2003-2005



Fuente. BOTERO, Luis F (2006). Construcción sin pérdidas

El resultado general obtenido en la ciudad de Bogotá para el tiempo productivo fue 45.46%, para el tiempo contributivo 27.85% y para el tiempo no contributivo 26.69%.

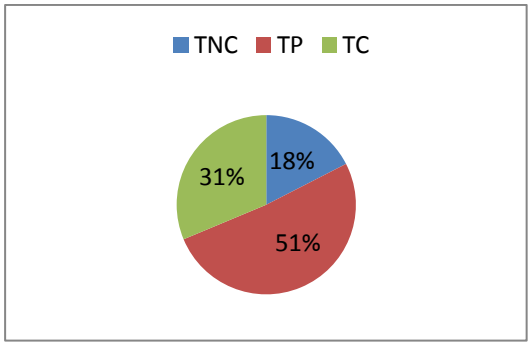
**Figura 1-5.** Distribución de tiempos laborados en obra Bogotá




Fuente. BOTERO, Luis F (2006). Construcción sin pérdidas

El resultado general obtenido en la ciudad de Manizales para el tiempo productivo fue 51.23%, para el tiempo contributivo 31.30% y para el tiempo no contributivo 17.46%.

**Figura 1-6.** Distribución de tiempos laborados en obra Manizales



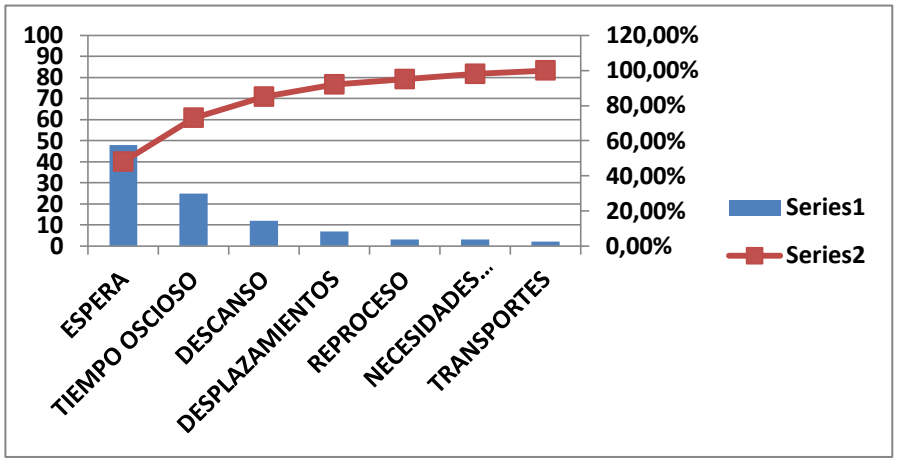

Fuente. BOTERO, Luis F (2006). Construcción sin pérdidas

El promedio general a nivel nacional demuestra que ninguna actividad tiene un comportamiento aceptable dentro de los estándares de la filosofía Lean, ya que los tiempos contributivo y no contributivo, superan el productivo.

Dentro del estudio se categorizaron las pérdidas y sus causas en el tiempo no contributivo, obteniendo los siguientes resultados:

En el promedio nacional las principales causas del tiempo no contributivo son las esperas, el tiempo ocioso y el descanso. En la siguiente figura se pueden observar los resultados obtenidos con la implementación del programa de mejoramiento liderado por la Universidad Eafit, implementación durante la cual se identificaron las causas de los tiempos no contributivos y la incidencia de las mismas.

**Figura 1-7.** Categoría de tiempos no contributivos en Colombia




Fuente. BOTERO, Luis F (2006). Construcción sin pérdidas

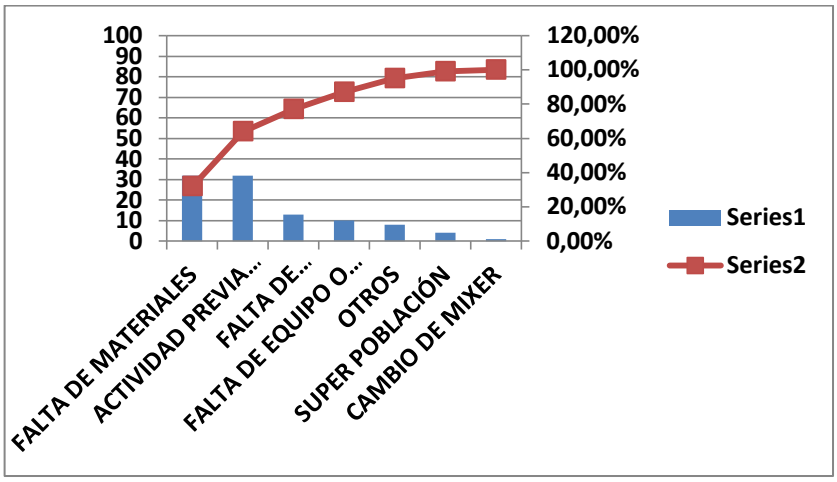
Los resultados obtenidos a nivel nacional representan una gran oportunidad de mejoramiento. Las esperas en el proceso constructivo son la principal causa de los tiempos no contributivos en los proyectos de construcción.

Por lo tanto, es necesario mejorar la gestión de la construcción, a través de una eficiente planificación que permita una adecuada disposición y localización de recursos, así como la adecuada utilización y disposición de cuadrillas de trabajo, minimizando constantemente las pérdidas de los procesos productivos.

Los principales motivos que generan las esperas son la falta de materiales, las actividades previas sin ejecutar o mal ejecutado, la falta de instrucción y la falta de

equipos o herramientas. En los resultados obtenidos durante el estudio realizado por la Universidad Eafit, los cuatros motivos relacionados representan el 87% de las esperas, como se puede observar en la siguiente figura:

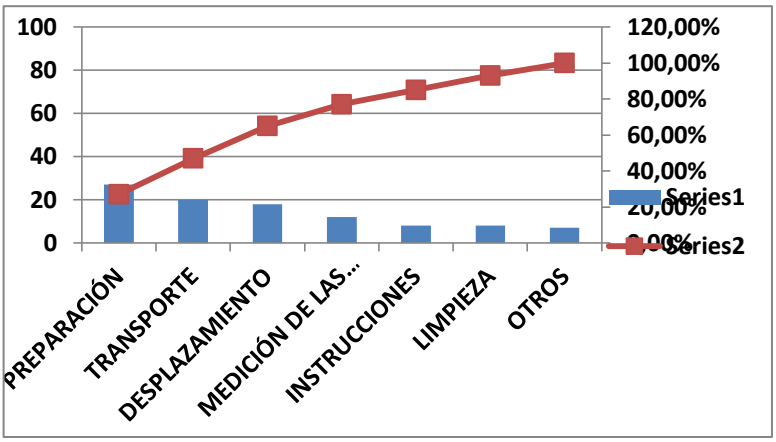
**Figura 1-8.** Causas de las esperas en Colombia




Fuente. BOTERO, Luis F (2006). Construcción sin pérdidas

Los tiempos contributivos son aquellos que se pueden disminuir más no eliminar, sin embargo la disminución de los tiempos contributivos permiten mejorar la productividad. Los resultados obtenidos por el grupo de investigación de la Universidad EAFIT liderado por el arquitecto Luis Fernando Botero, demostraron que la preparación de superficies, los transportes, los desplazamientos, las mediciones y las instrucciones representan el 85% del trabajo contributivo en las ciudades analizadas. En la siguiente figura se pueden observar las causas generadoras del tiempo contributivo y las incidencias de las mismas en el porcentaje promedio obtenido:

**Figura 1-9**. Categorías del tiempo contributivo en Colombia




Fuente. BOTERO, Luis F (2006). Construcción sin pérdidas

# 2. Metodología de Investigación

El objetivo de esta investigación es la de establecer una propuesta metodológica para la implementación de la filosofía Lean a los proyectos de construcción. Para esto se hace necesario conocer la respuesta de la siguiente pregunta:

**¿Cómo mejorar la productividad de las industrias de la construcción en Colombia siguiendo los parámetros de filosofía Lean Construction?**

La metodología aplicada para responder la anterior pregunta se fundamentó en el **estudio de caso propuesto por Yin (1989)**, el cual a través de evidencia documental, observación directa y entrevistas permitió triangular[3] esta información con la teoría existente en el tema de Lean Construction y arrojar conclusiones las cuales pueden ser generalizadas en un sector determinado, o en algún tipo especifico de industrias.

Los pasos a seguir para el desarrollo de la investigación fundamentados en el estudio de caso fueron los siguientes:

1. Realización de lecturas exploratorias las cuales permitieron abordar mejor el tema de Lean Construction y darle una mejor solución a la pregunta problema.

   Las fuentes principales de lectura fueron las bases de datos indexadas y las tesis que se han presentado relacionadas con el tema de la investigación. El resultado de esta exploración fue identificar los conceptos para desarrollar una disertación teórica que constituyó el marco conceptual del trabajo.

   Un elemento de consulta escrita ha sido la tesis de Henry Koskela, creador de la filosofía Lean Construction y los artículos publicados por Luis Botero, profesor de la Universidad EAFIT.

2. Se definieron los proyectos de construcción a los cuales se les realizó el diagnóstico. Los proyectos escogidos para la investigación fueron: **Remodelación del Centro Zonal ICBF y Consorcio Archivo naval**. En estos proyectos se recolectaron datos para elaborar la ruta de planeación y ejecución de los mismos; esta información fue

[3] triangulación en la investigación social y que su definición del vocablo enfatiza la utilización de distintos enfoques, herramientas e ideas parea acercarse a una realidad y construir las respuestas o información buscada.

obtenida analizando la documentación que constantemente está siendo utilizada y manipulada durante el desarrollo de la obra por el Director del proyecto, y mediante la observación directa en terreno de la ejecución de labores del equipo conformado por el maestro de obra y sus obreros , también se hicieron entrevistas con el fin de conocer y escuchar las diferentes inquietudes que atañen a la profesión.

Entre los documentos revisados en cada uno de los proyectos y que son de vital importancia como soporte legal se encuentran:

- **Actas de Corte de Obra:** Documento que muestra el avance de las actividades constructivas del proyecto. En ellas se evidencia el progreso porcentual de las labores realizadas en cada etapa, contra lo esperado en el corte de tiempo donde se realiza el acta.

- **Cronograma:** Muestra el tiempo planeado para la ejecución del proyecto, así como las actividades a desarrollar y en algunos casos los recursos necesarios para ejecutar cada actividad. Los cronogramas son usualmente realizados en Microsoft Project, siendo esta una herramienta informática del Oficie utilizada para tal fin.

- **Bitácora de Obra:** En este documento se describe día a día el desarrollo de actividades concernientes al proyecto, la Bitácora se convierte en un medio de consulta de todo lo sucedido durante del desarrollo del proyecto de construcción

En cuanto al proceso de observación directa, esta se realizó en las siguientes etapas del proyecto:

- **Reuniones de Comité de Obra:** Estos comités se programan y se ejecutan periódicamente e intervienen indispensablemente el Gerente de la empresa constructora y el residente de la obra (Director del proyecto).

  En ellos se observa cómo se realiza el proceso de planeación y ejecución de los proyectos, como se debate hasta llegar a tener claras las fortalezas y debilidades que se presentan durante la gestión realizada con el fin de obtener los recursos necesarios e indispensables y que serán utilizados durante el desarrollo del

proyecto, también se debate en cuanto a la forma en que se llevaran los registros historiales de lo sucedido en cada comité teniendo en cuenta que de deberán dejar plasmadas las conclusiones hechas en estas reuniones.

- **Actividades del Proceso Constructivo:** estas actividades corresponden a la parte operativa del proyecto, entre ellas están la cimentación, fraguado, pañete, instalación de tuberías, etc.

3. Se trianguló la evidencia recolectada por la observación directa, entrevistas y análisis de documentos con la filosofía Lean Construction, las cual sirvió para categorizar y examinar la información. Con esta actividad se validó la información obtenida permitiendo arrojar conclusiones más certeras del estudio.

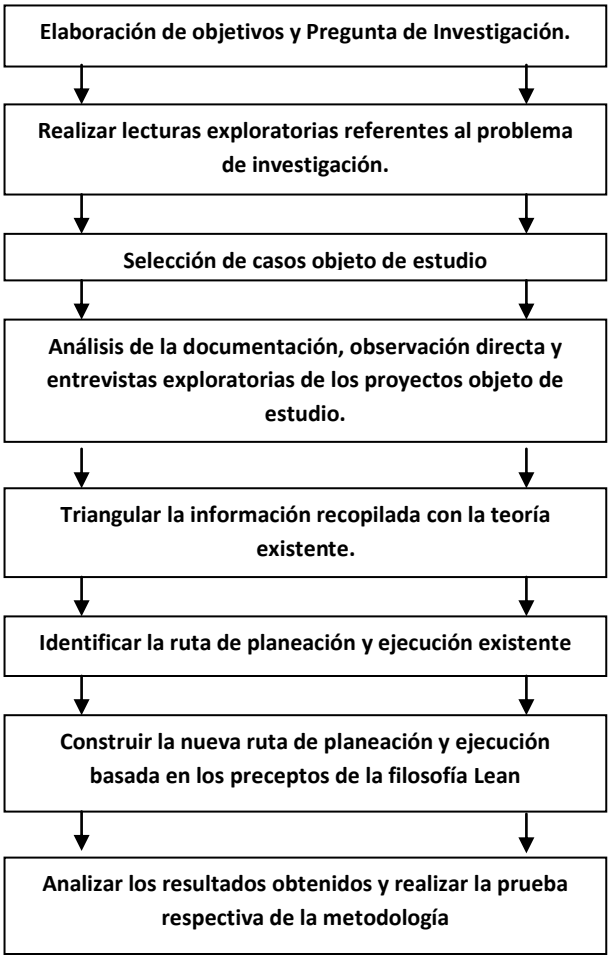
   Esta triangulación consistió en comparar los hallazgos hechos en las entrevistas, observación directa y el análisis documental para ver si existía coherencia entre cada fuente de información y así validarla como factible y de objeto de estudio

4. Se identificó la ruta de planeación y ejecución realizada en estos dos proyectos (Secuencia lógica de actividades realizadas cuando se planea y se ejecutan los proyectos). Esta ruta es una serie de pasos que usualmente siguen las personas que planean y ejecutan los proyectos de construcción con el fin de obtener los resultados esperados en el desarrollo del proyecto, es decir que la obra se esté ejecutando teniendo en cuenta los costos presupuestados y el tiempo pactado con el cliente.

5. Se documentó la metodología de implementación de la filosofía Lean teniendo en cuenta la ruta propuesta para la planeación y ejecución de proyectos de construcción. En esta metodología se encuentran los pasos a seguir en las actividades necesarias para lograr un mejor desempeño en modelo de planeación y ejecución de proyectos de construcción actuales.

6. Se analizaron los resultados obtenidos y de acuerdo a esto se realizaron las correcciones necesarias a la ruta de planeación y ejecución, de igual forma se corrigió su ruta de implementación. Para llevar a cabo este análisis se tomó como ejemplo un proyecto de construcción al cual se le aplicó la metodología propuesta.

**Figura 2-1.** Metodología utilizada para la investigación




Fuente: El Autor

# 3. Caracterización y análisis de los proyectos objeto de estudio

## 3.1 Servicio de mantenimiento, adecuación y ampliación del Archivo Central de la Base Naval A.R.C Bolívar

Tabla 3-1. Caracterización del proyecto 1

| PROYECTO 1 | |
|---|---|
| **Nombre de la Empresa Constructora** | Consorcio Archivo Naval |
| **Objeto del Proyecto** | Servicio de mantenimiento, adecuación y ampliación del archivo central de la Base Naval A.R.C Bolívar |
| **Duración** | 3 meses |
| **Costo** | $270.000.000 M/Cte. |
| **Interventor** | Jesús Miguel Varón Cruz |
| **Ubicación** | Cartagena – Bolívar |

Fuente. El autor

El objetivo final de este proyecto fue el Servicio de mantenimiento, las adecuaciones y las ampliaciones del archivo central de la Base Naval A.R.C Bolívar, para su mejor funcionalidad, fue realizado en la ciudad Cartagena departamento de Bolívar, por la empresa **Consorcio Archivo Naval**.

Durante más de tres meses se obtuvo acceso a las reuniones periódicas que realizaban el Gerente con el Director del proyecto, de igual forma se mantuvo el contacto con la documentación correspondiente al proyecto, y se accedió al lugar de ejecución del mismo con el fin de realizar el estudio respectivo en este.

La primera fase del estudio realizado al proyecto fue la observación y la realización de entrevistas a los encargados del proceso de planeación.

En la etapa de planeación del proyecto se reunieron el Gerente del Consorcio Archivo Naval y el Director del Proyecto en tres ocasiones, con el fin de de elaborar el presupuesto del proyecto, la construcción del cronograma y determinación de los

recursos necesarios para darle inicio a la obra, todo esto enmarcado en los términos de referencia del contrato. En estas reuniones no se estableció un modelo de incentivos por objetivos, tampoco se estableció un programa de capacitación para los empleados, y no se generó el cronograma de reuniones de planeación intermedia ni semanal necesarias con el fin de establecer la mejor estrategia aplicable de tal forma que esto conllevara a una meta interpuesta para ejecutar de mejor manera el proyecto.

Durante las reuniones realizadas se evidenció la ausencia de registros documentales que permiten realizar una retroalimentación posterior de las conclusiones obtenidas en ella, durante el mismo proyecto o proyectos ejecutados Los registros generados en esta etapa fueron el cronograma de obra y el presupuesto.

Dentro del proceso de planeación del proyecto no se diseñaron indicadores para medir la productividad del proyecto, el único indicador visible de medición fue el de cantidades de obra ejecutadas que se calcula según el avance de las actividades constructivas; indicadores que vincularán tiempos, costos, seguridad industrial y efectividad de la planeación, no se consideraron por lo que en los informes de corte de obra solo se proyectaba el avance del proyecto sin tener en cuenta el nivel de productividad de los recursos

Para la asignación de recursos como mano de obra, maquinaria y equipos necesarios para la ejecución del proyecto se tuvieron en cuenta proyectos similares los cuales habían sido realizados por la misma empresa, de los cuales se obtuvo la información de los costos, tiempos y duración de cada una de las actividades constructivas. La experiencia del Residente de Obra y el Gerente permitieron elaborar el presupuesto del proyecto, aunque no se utilizó ningún apoyo de gestión de proyectos para esta fase.

Es relevante manifestar que ni el Director de Proyectos ni el Gerente de la Empresa que fueron los encargados del proceso de planeación del proyecto, contaran con un estudio previo acerca de la gestión de proyectos, y esta falencia se convierte en un factor que limita su aporte en esta etapa del proyecto, conllevando a tomar algunas decisiones y acciones tardías en situaciones de impacto negativo y luego de que han sucedido los hechos, y lo realmente importante es prever estas situaciones de tal forma que se logren crear acciones preventivas manteniendo el mínimo margen de error.

La selección del recurso humano necesario para la ejecución del proyecto se dio a través de un banco de hojas de vida con el cual contaba la empresa, algunas personas del área operativa fueron seleccionadas por el Maestro de Obra, más no por el Director de Proyecto ni el Gerente.

Entre las personas escogidas para trabajar en el proyecto, solo el Director de Proyectos contaba con título profesional y la experiencia certificada de 2 Años de construcción como la exigía el proyecto. El Maestro de Obra solo contaba con experiencia empírica no certificada por ninguna entidad educativa del país así como los obreros a su cargo.

La siguiente tabla muestra como fue la solicitud de cargos y el perfil solicitado para la selección

**Tabla 3-2.** Distribución de cargos Proyecto 1

| Nombre del cargo | Número de personas solicitadas | Persona quien elige la persona para ocupar el cargo | Razón de la escogencia |
|---|---|---|---|
| Director de Proyecto | 1 | Gerente | Experiencia en el área de construcción y dirección de obras civiles |
| Maestro de Obra | 1 | Director de Proyecto y Gerente | Experiencia en el área de construcción y dirección de obras civiles |
| Obreros | 12 | Maestro de Obra | Experiencia en el campo |

Fuente. El autor

De los 12 obreros contratados para laborar en el proyecto, solo 6 habían trabajado anteriormente en la empresa, por lo tanto conocían el modelo de gestión administrativa aplicada por las personas a cargo del proyecto. Los otros seis obreros se encontraban vinculados a empresas temporales en las cuales no se les había dado continuidad en su labor. Ninguno de ellos recibió una capacitación previa sobre el proyecto, requerimientos del clientes y plazos de entrega, solo al Maestro de Obra se le informó sobre las anteriores solicitudes. Una de las razones por la cuales no se capacitó al personal contratado fue según el Director de Proyecto la de que no se les daría continuidad en la contratación para obras posteriores.

De los doce obreros que laboraron en el proyecto solo dos se encontraban certificados de acuerdo a su profesión, los otros diez eran empíricos con una experiencia de más de 5 años en el ejercicio de su profesión. De acuerdo a la investigación, una de las causas por la cual estos obreros no se encuentren certificados de acuerdo a sus habilidades laborales se debe a que las empresas que los han estado contratando no mantienen como requisito indispensable para el ingreso del personal un tipo de certificación que les acredite su formación académica con especialidad en las áreas de construcción de obras, para las empresas es más importante negociar el precio de la mano de obra.

La asignación de funciones y responsabilidades a los miembros del proyecto se dieron verbalmente; no se elaboró un comunicado oficial especificando dichas asignaciones de acuerdo a la reglamentación, esta situación conllevó a que el proceso de asignación se tornara repetitivo teniendo en cuenta que el Maestro de Obra no recordó algunas directrices dadas con anterioridad por el Director de Proyectos por lo tanto se generó el retraso en la ejecución de las actividades de mampostería y pañete, donde los obreros no tenían claridad en la ejecución de sus labores al no saber que trabajadores habían sido asignados para cumplir con esta labor.

El Maestro de Obra s realizó la asignación de funciones diariamente del personal a cargo, muchas veces sin compañía del Director de Proyecto, debido a esto se presentaron inconvenientes en el momento en que el Director de Proyectos necesitaba dar otras directrices pues al momento de asignarlas contradecía las que ya habían sido asignadas por el Maestro de Obra s.

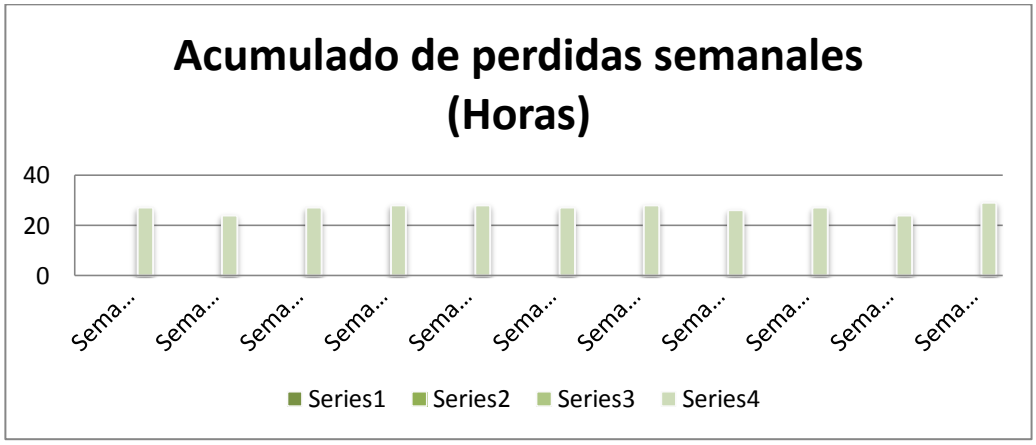
Durante el desarrollo de las actividades se observó hacinamiento en los espacios de trabajo, un área afectada fue la de mampostería y Vaciado de concreto, donde el tránsito holgado de los trabajadores era imposible debido al sobrecupo de personal en esta área en la que el desplazamiento y transporte de materiales era de vital importancia, sin embargo para la ejecución de esta labor no se utilizaron medios adecuados como carros o grúas por lo tanto los materiales como cemento, arena y bloques se transportaron manualmente, hecho de esta forma la demora era inevitable causando el retraso en el desarrollo de las actividades.

Durante el desarrollo del proyecto se hizo notable la falta de planificación así como la deficiencia en la planeación de la logística en todo lo referente al manejo de materiales,

herramientas y equipos. El anticipo entregado por las Fuerzas Armadas a los gestores del proyecto no fue lo suficientemente planificado para ser entregado de acuerdo a las actividades desarrolladas y labores terminadas a satisfacción teniendo en cuenta lo establecido en el contrato de acuerdo a la versión entregada por el Director de Proyectos, también se produjeron retrasos en las actividades de mampostería, instalaciones sanitarias e hidráulicas teniendo como resultado un retraso visible de quince días en el desarrollo del proyecto, los cuales tuvieron que ser recuperados accediendo a la contratación de cinco obreros más que realizaron actividades en un horario extra nocturno.

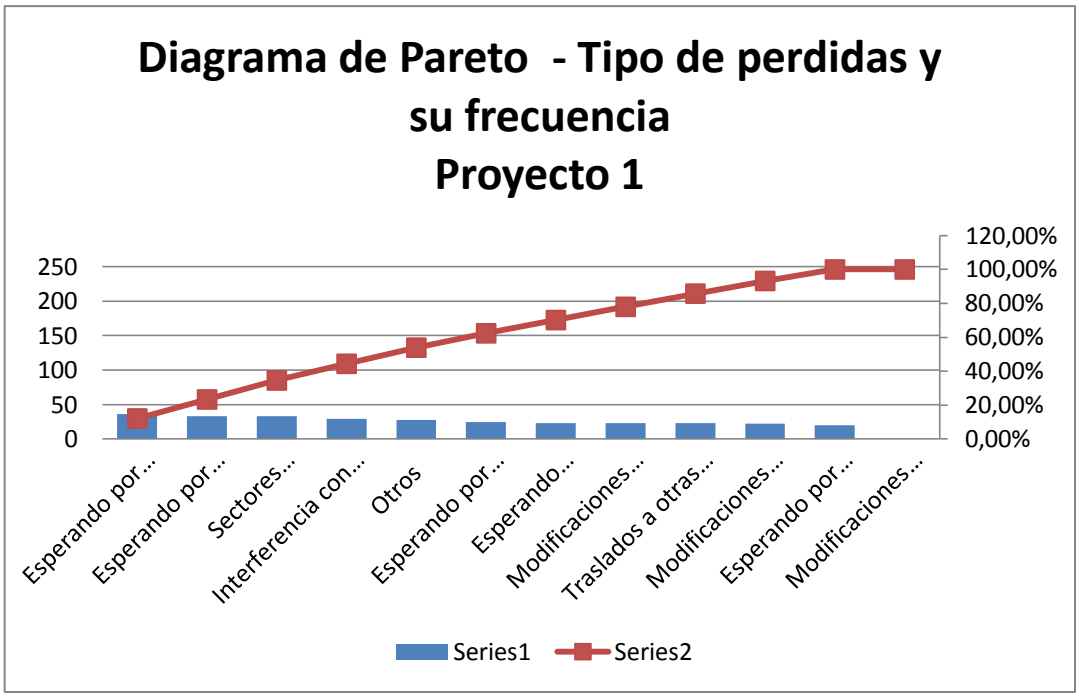
Para cuantificar las pérdidas ocasionadas por la mala gestión en las actividades de planeación y ejecución del proyecto, se le solicitó al Maestro de Obra que registrara las horas de trabajo pérdidas durante la semana debido a los retrasos por materiales, herramientas, equipos, problemas en el diseño, etc. Véase Anexo B. La siguiente figura muestra el acumulado de tiempos semanales por pérdidas y su clasificación según la frecuencia de ocurrencia durante todo el proyecto:

**Figura 3-1**. Acumulado de pérdidas semanales Proyecto 1




Fuente. El autor.

**Figura 3-2.** Diagrama de Pareto- Tipo de pérdida y su frecuencia proyecto 1




Fuente. El autor

Analizando los resultados obtenidos podemos ver que las pérdidas ocasionadas por la espera de recursos necesarios para la ejecución del proyecto son las más representativas y que generan gran impacto en los tiempos de ejecución y la productividad de otros recursos. Estas esperas se deben en gran parte al proceso de planeación previo y al compromiso de los proveedores en cuanto al suministro de estos recursos.

Llevando a cabo la revisión de la documentación establecida para estos casos se observa lo siguiente:

1. **Actas de Corte:** Información plasmada de acuerdo a las reuniones semanales o quincenales realizadas por el Director y el Gerente de Proyecto para debatir sobre los temas concernientes al avance de la obra. Se revisaron Quince actas que fueron elaboradas desde el mes de agosto hasta el mes de diciembre de acuerdo al desarrollo del proyecto. En estas actas se evidencia la ausencia de acciones correctivas o preventivas con el fin de ser aplicadas y así evitar la

continuidad de errores y la repetición de las notables falencias que pudieran afectar la productividad del proyecto. Véase Anexo B.

2. **Cronograma del Proyecto:** Este cronograma fue elaborado utilizando el software Microsoft Project, en el solo se encuentran plasmado los tiempos por actividad constructiva mas no la asignación de recursos para el desarrollo de cada una, no quedaron estipuladas las líneas de avance del proyecto que permitan el seguimiento porcentual, no quedaron establecidas las fechas en las cuales se llevarían a cabo las reuniones en las cuales se dejara establecida la planeación intermedia o semanal que permitieran mejorar la gestión administrativa del proyecto . Véase Anexo B.

## 3.2 Remodelación del centro zonal ICBF

**Tabla 3-3.** Caracterización del proyecto 2

| **PROYECTO DE ESTUDIO 2** | |
|---|---|
| Nombre de la empresa constructora | Hernán Ramos |
| Objeto del proyecto | Remodelación del centro Zonal ICBF |
| Duración | 30 Días |
| Costo | $75.000.000 |
| Ubicación | Sincelejo |

Fuente. El autor

Este proyecto tuvo como objeto la remodelación de un Centro Zonal del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar el cual fue realizado en la Ciudad de Bogotá, por la empresa **Hernán Ramos V**.

En el transcurso aproximado de un mes se tuvo acceso a las reuniones periódicas que realizaban el Gerente con el Director del proyecto, también obtuvimos acceso a la documentación establecida para estos casos y al lugar de ejecución del proyecto.

Este estudio se dio en las siguientes etapas:

**Tabla 3-4.** Etapas de investigación del proyecto 2

| Etapa del Proyecto | Método | Responsables de la Etapa del Proyecto |
|---|---|---|
| Planeación | Observación Directa y entrevista | Gerente, Director de Proyecto y Contratista |
| Ejecución | Observación Directa, entrevistas y Análisis Documental | Gerente, Director de Proyecto y Contratista |

Fuente. El autor

En la etapa de planeación del proyecto se reunieron el Gerente y el Director del Proyecto con el fin de elaborar el presupuesto del proyecto, la construcción del cronograma y determinación de los recursos necesarios para darle inicio a la obra, todo esto enmarcado en los términos de referencia del contrato. En estas reuniones no participaron los contratistas del proyecto. Como evidencia de estas reuniones se elaboraron actas en las cuales quedaron plasmadas las conclusiones y decisiones tomadas, así como los compromisos adquiridos y el personal al cual se le daría asignación de funciones para cumplir con los procesos requeridos.

Se construyeron a su vez dos indicadores para la medición del desempeño del proyecto, estos fueron:

**% Cantidades de Obras Ejecutadas**

**Indicador de Presupuesto** = Presupuesto Real / Presupuesto Programado

A pesar de que estos indicadores miden la productividad, no son lo suficientemente concluyentes ya que dejan fuera la medición de productividad en todo lo concerniente a la mano de obra, herramientas y equipos, los cuales son de vital importancia en el mejoramiento continuo del desempeño en el proceso constructivo

Para la asignación de recursos tales como mano de obra, maquinaria y equipos necesarios para la ejecución del proyecto se tuvieron en cuenta proyectos similares los cuales habían sido contratados y ejecutados por la misma empresa, de estos proyectos ya ejecutados se obtuvo información en lo referente a costos, tiempos y duración de cada una de las actividades constructivas. La experiencia del Director y el Gerente de

proyecto permitieron ajustar el presupuesto del proyecto, aunque no se utilizó ningún apoyo de gestión de proyectos para esta fase.

Los proveedores de materiales fueron seleccionados teniendo en cuenta un estándar de precios mantenido por ellos y una forma de pago preestablecida de acuerdo a la solicitud de materiales. La trayectoria en el mercado y la disponibilidad del material en sitio no fue prioridad para ellos.

En cuanto a la asignación del recurso humano para el desarrollo del proyecto, la selección se hizo teniendo en cuenta el banco de hojas de vida con el cual contaba la empresa, algunas personas del área operativa fueron seleccionadas por el Maestro de Obra , más no por el Director de Proyecto ni el Gerente.

La tabla anterior muestra como fue la elección de los cargos y su razón de su selección

**Tabla 3-5.** Etapas de investigación del proyecto 2

| Nombre del Cargo | Número de Personas Solicitadas | Persona quien elige el personal para ocupar el cargo | Razón de la Escogencia |
|---|---|---|---|
| Director de Proyecto | 1 | Gerente | Experiencia en el área de construcción y dirección de obras civiles |
| Maestro de Obra | 1 | Director de Proyecto y Gerente | Experiencia en el área de construcción y dirección de obras civiles |
| Obreros | 8 | Maestro de Obra | Experiencia en el campo |

Fuente. El autor

De los ocho obreros solicitados para trabajar en el proyecto, solo tres laboraron con anterioridad en la empresa, por lo tanto eran conocedores del modelo de gestión administrativa aplicada por las personas a cargo del proyecto. Los otros cinco obreros se encontraban vinculados a diferentes empresas temporales en las cuales no se les había aprobado la continuidad en sus labores. Ninguno de ellos recibió una capacitación previa

sobre el proyecto a desarrollar, requerimientos y necesidades de los clientes y plazos de entrega, tan solo el Maestro de Obra fue conocedor de esa información; al personal contratado no se le programó capacitación teniendo en cuenta que no se le daría continuidad laboral en posteriores obras; esto de acuerdo a la versión del Director de Proyecto.

De los ocho obreros que fueron contratados para trabajar en el proyecto ninguno poseía certificación laboral expedida por una entidad educativa de acuerdo a sus conocimientos, a pesar de esto contaban con una experiencia empírica laboral de más de 6 años. Una de las causas por las cuales estos obreros carecían de certificación académica se debía a que las empresas que los habían contratado anteriormente no les exigieron en ningún momento algún tipo de constancia laboral que los certificara en un oficio específico, para ellos fue más importante el precio acordado por la mano de obra y la disponibilidad para laborar de forma inmediata.

La asignación de funciones y responsabilidades a los miembros del proyecto se dieron verbalmente; no se elaboró un comunicado oficial especificando dichas asignaciones de acuerdo a la reglamentación, esta situación conllevó a que el proceso de asignación se tornara repetitivo teniendo en cuenta que el Maestro de Obra no recordó algunas directrices dadas con anterioridad por el Director de Proyectos por lo tanto se generó el retraso en la ejecución de las actividades de mampostería y pañete, donde los obreros no tenían claridad en la ejecución de sus labores al no saber que trabajadores habían sido asignados para cumplir con esta labor.

El Maestro de Obra realizó la asignación de funciones diariamente del personal a cargo, muchas veces sin compañía del Director de Proyecto, debido a esto se presentaron inconvenientes en el momento en que el Director de Proyectos necesitaba dar otras directrices pues al momento de asignarlas contradecía las que ya habían sido asignadas por el Maestro de Obra s.

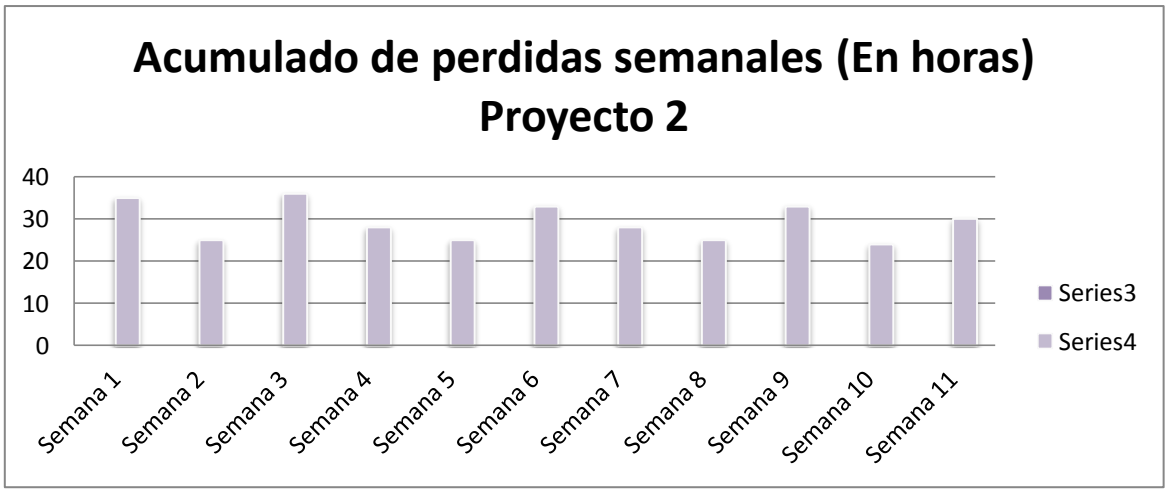
Durante el desarrollo de las actividades se observó hacinamiento en los espacios de trabajo, un área afectada fue la de mampostería y vaciado de concreto, donde el tránsito holgado de los trabajadores era imposible debido al sobrecupo de personal en esta área en la que el desplazamiento y transporte de materiales era de vital importancia, sin embargo para la ejecución de esta labor no se utilizaron medios

adecuados como carros o grúas por lo tanto los materiales como cemento, arena y bloques se transportaron manualmente, hecho de esta forma la demora era inevitable causando el retraso en el desarrollo de las actividades.

Durante el desarrollo del proyecto se hizo notable la falta de planificación a si como la deficiencia en la planeación de la logística en todo lo referente al manejo de materiales, herramientas y equipos. El anticipo entregado por las Fuerzas Armadas a los gestores del proyecto no fue lo suficientemente planificado para ser entregado de acuerdo a las actividades desarrolladas y labores terminadas a satisfacción teniendo en cuenta lo establecido en el contrato de acuerdo a la versión entregada por el Director de Proyectos, también se produjeron retrasos en las actividades de mampostería, instalaciones sanitarias e hidráulicas teniendo como resultado un retraso visible de quince días en el desarrollo del proyecto, los cuales tuvieron que ser recuperados accediendo a la contratación de cinco obreros más que realizaron actividades en un horario extra nocturno.

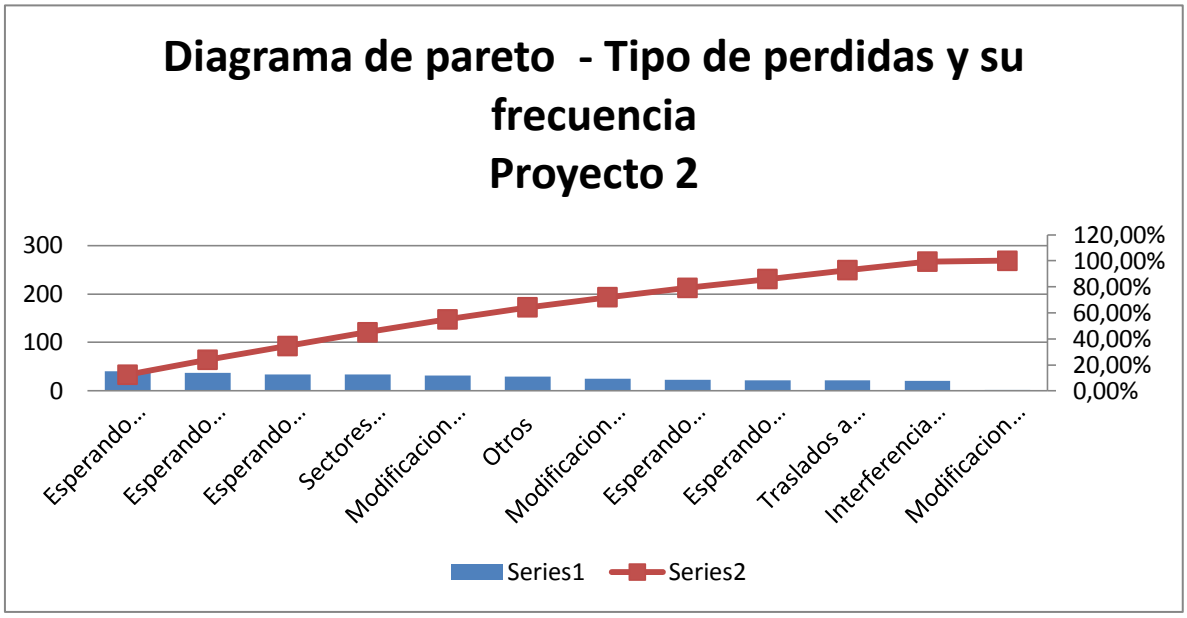
Para cuantificar las pérdidas ocasionadas por la mala gestión en las actividades de planeación y ejecución del proyecto, se le solicitó al Maestro de Obra que registrara las horas de trabajo pérdidas durante la semana debido a los retrasos por materiales, herramientas, equipos, problemas en el diseño, etc. Véase Anexo C. La siguiente figura muestra el acumulado de tiempos semanales por pérdidas y su clasificación según la frecuencia de ocurrencia durante todo el proyecto:

**Figura 3-3.** Acumulado de pérdidas semanales (Horas)- Proyecto 2



Fuente. El autor

**Figura 3-4**, Diagrama de Pareto- Tipo de pérdida y su frecuencia proyecto 1




Fuente. El autor

Analizando los resultados obtenidos podemos ver que las pérdidas ocasionadas por la espera de recursos necesarios para la ejecución del proyecto son las más representativas y que generan gran impacto en los tiempos de ejecución y la productividad de otros recursos. Si comparamos los resultados con el Proyecto 1, existe una similitud en cuanto a que en este también las esperas representaban un gran impacto en la productividad

Llevando a cabo la revisión de la documentación establecida para estos casos se observa lo siguiente:

1. **Bitácora del proyecto:** Información plasmada de acuerdo a las reuniones semanales o quincenales realizadas por el Director y el Gerente de Proyecto para debatir sobre los temas concernientes al avance de la obra. Se revisaron 15 actas que fueron elaboradas desde el mes de agosto hasta el mes de diciembre de acuerdo al desarrollo del proyecto. En estas actas se evidencia la ausencia de acciones correctivas o preventivas con el fin de ser aplicarlas y así evitar la

continuidad de errores y la repetición de las notables falencias que pudieran afectar la productividad del proyecto. Véase Anexo C.

2. **Revisión Cronograma de Proyecto:** Este cronograma fue elaborado utilizando el software Microsoft Project, en el solo se encuentran plasmado los tiempos por actividad constructiva mas no la asignación de recursos para el desarrollo de cada una, no quedaron estipuladas las líneas de avance del proyecto que permitan el seguimiento porcentual, no quedaron establecidas las fechas en las cuales se llevarían a cabo las reuniones en las cuales se dejara establecida la planeación intermedia o semanal que permitieran mejorar la gestión administrativa del proyecto.

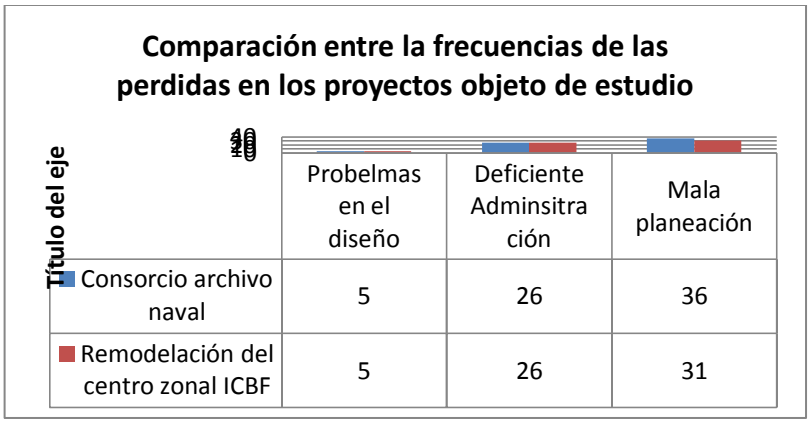
## 3.3 Triangulación de la información de los proyectos objeto de estudio

La Filosofía Lean Construction plantea que las causas de que la industria de la construcción tenga problemas en su productividad son ocasionadas por tres factores como lo son los problemas en el diseño, la deficiente administración y la mala planeación de los proyectos.

La triangulación de la información obtenida a través de los proyectos objeto de estudio con los preceptos de la filosofía de Lean se hizo a través de las matrices que se encuentran en el Anexo C. Para realizar esta triangulación, se tomaron en cuenta los hallazgos hechos en los dos proyectos y que se pueden identificar como pérdidas en el proceso constructivo así como también las causas que las producen; luego de ello, estos resultados se compararon con lo que la Filosofía Lean define como pérdidas obteniendo así una correspondencia entre lo que dice la teoría existente en el tema y lo que muestran los proyectos.

Los hallazgos obtenidos en los dos proyectos fueron similares en cuanto a los problemas que ocasionaban la disminución de la productividad en las operaciones, la siguiente figura muestra la comparación de los hallazgos entre los dos proyectos objeto de estudio en cuanto a las causas que los producen:

**Figura 3-5.** Comparación de las causas de las pérdidas en los proyectos objeto de estudio.




Fuente. El autor

Como se puede ver en la figura, la mala planeación es la causa principal de que en los proyectos objeto de estudio existieran problemas que ocasionaran en detrimento de la productividad en sus operaciones, seguido de la deficiente administración de los proyectos.

# 4. Ruta de planeación y ejecución para proyectos de construcción basado en la Filosofía Lean

Basado en el análisis de los dos proyectos anteriormente descritos, se puede observar que muchos de los problemas de productividad vienen de una mala planeación previa a la ejecución, ejemplo de ello se evidenció en el proyecto ejecutado en la base naval de Bolívar donde hubo un retraso de 15 días debido a la no disponibilidad de recursos en los momentos donde se necesitaban.

A continuación se muestran los pasos propuestos para la mejora de la productividad en las empresas de la construcción:

## 4.1 Sensibilización sobre lean Construction

Este proceso debe ser realizado principalmente a los Directivos y a los Directores de proyectos para que estos tengan claridad sobre el modelo de gestión a implementar en sus organizaciones y permitan además replicar este conocimiento a las otras personas involucradas en el proyecto de construcción.

En esta sensibilización se deben tratar los temas de Productividad, Last Planner, Indicadores de medición de la productividad, medición del desempeño, identificación de las pérdidas en el proceso constructivo y la evaluación de los resultados encontrados durante la ejecución del proyecto.

## 4.2 Revisión y determinación de los requisitos del cliente

En esta etapa es necesario que las personas que realizan el proceso de planeación definan con claridad los requisitos del cliente, para ello es recomendable utilizar una lista de verificación donde se coloquen los requerimientos del cliente y sus prioridades, para que en el proceso de ejecución sean tenidas en cuenta. Estos requisitos deben convertirse en puntos clave a tratar en las reuniones programadas dentro de la ejecución del proyecto.

## 4.3 Elaboración del diseño

Para la elaboración del diseño es importante que exista sinergia entre las cuatro partes interesadas en el proyecto: Diseñador, Contratista, Constructor y Cliente. Para ello deben programarse reuniones en donde tanto el cliente del proyecto como el diseñador y la empresa constructora puedan validar y aprobar el diseño para que más adelante no existan incoherencias o cambios repentinos en el proceso de construcción.

La norma ISO 9001[4] propone una serie de pasos para poder aprobar un diseño, los cuales pueden ser adaptados a la construcción y que podrían mejorar significativamente la gestión en esta etapa del proyecto.

Las etapas propuestas por la ISO 9001 son:

**Tabla 4-1.** Pautas para gestionar los diseños

| Actividad | Descripción | Responsable |
|---|---|---|
| Planificación del Diseño | En esta etapa se deben determinar los requisitos del cliente, incluyendo los requisitos para la entrega y las posteriores a la misma.<br><br>En esta actividad también se tienen que definir las etapas del desarrollo del diseño, responsables de la validación, revisión y verificación del diseño y los canales de comunicación entre las partes interesadas en la ejecución del diseño. | Diseñador<br><br>Director del Proyecto |
| Elementos de entrada | En esta etapa se deben determinar los requisitos de entrada del diseño, relacionados con los requisitos funcionales y de desempeño, requisitos legales, información proveniente de diseños anteriores (Si aplica) y otros requisitos indispensables para la ejecución del mismo.<br><br>Es importante que estos requisitos estén completos y sin ambigüedades. | Diseñador<br><br>Director del Proyecto<br><br>Cliente |
| Resultados del diseño | Los resultados del diseño deben proporcionarse de manera adecuada para que puedan ser verificables con los requisitos de entrada, y deben ser verificados antes de su liberación (aprobación definitiva).<br><br>Los resultados antes mencionados deben contener parámetros para su aceptación y cumplir con los requisitos de los elementos de entrada | Diseñador<br><br>Director del proyecto<br><br>Cliente<br><br>Contratistas |

[4] Es un conjunto de normas sobre la calidad y las gestiones

| Actividad | Descripción | Responsable |
|---|---|---|
| Revisión del diseño | En cada etapa del diseño se deben realizar revisiones sistemáticas para la aprobación del diseño definitivo, es por ello que es necesario establecer acciones correctivas o preventivas en caso de que exista una no conformidad en la elaboración del diseño | Diseñador<br><br>Director del Proyecto |
| Verificación del diseño<br><br>y validación del diseño | Luego de finalizar el diseño, se debe hacer una última verificación, esta debe realizarse con todas las partes interesadas en el proyectos para que luego esta puedan ser validada y liberada para su ejecución | Diseñador<br><br>Director del Proyecto<br><br>Cliente<br><br>Contratistas |
| Control de cambios en el diseño | El control de cambios consiste en documentar los cambios hechos antes o después de la elaboración del diseño, esto con el fin de contar con información para futuros diseños y tener evidencias en caso de alguna inconformidad futura por parte del cliente | Diseñador<br><br>Director del Proyecto |

Fuente. El autor

## 4.4 Indicadores de medición de la productividad.

Los indicadores de medición son parte fundamental de la medición del desempeño en un proyecto de construcción. Es importante luego de que identifiquen los requisitos del cliente, se diseñen indicadores que midan los resultados obtenidos en cuanto a los costos , plazos de entrega, mano de obra y calidad; además para analizar el desempeño del proceso constructivo.

Botero (2006), recomienda los siguientes indicadores para la medición de la productividad del proyecto:

**Tabla 4-2.** Indicadores de medición de la productividad en proyectos de construcción

| **Indicadores de Resultado** | | |
|---|---|---|
| **Resultado** | **Nombre** | **Indicador** |
| **Costo** | Variación del costo | Costo Actual/ costo presupuestado |
| **Plazo** | Variación del plazo | Duración Actual / Duración Programada |
| **Consumo de mano de obra** | Eficiencia de la mano de obra | Horas Hombre actual / horas hombre Planeada |
| | | Costo de mano de Obra / costo de Mano de Obra Presupuestado |

| | | |
|---|---|---|
| **Calidad** | Costos de reclamos | Costo de Reparaciones / Costo del Proyecto |
| **Indicadores de Proceso** | | |
| **Resultado** | **Nombre** | **Indicador** |
| **Construcción** | Productividad | $ /m2 Ventas |
| | | $ / unidades de Construcción |
| | Reproceso | Horas hombre de reproceso/ Horas hombre total |
| **Compras y adquisiciones** | Tiempo de ciclo de compras | Tiempo entre la orden de compra y la entrega en obra |
| | Pedidos Urgentes | Numero de pedidos Urgente/ Total de pedidos |
| **Planificación** | Efectividad en la planificación | PAC ( Porcentaje de actividades completadas |

Fuente. BOTERO, Luis (2006). Construcción sin pérdidas

Para determinar la frecuencia de medición de cada uno estos indicadores se tendrá en cuenta el tamaño del proyecto y su duración. Es importante desarrollar acciones de mitigación en caso del no cumplimiento de algún indicador antes mencionado, estas serán propuestas en las reuniones de planeación intermedias o semanales.

## 4.5 Elaboración del cronograma:

El cronograma utilizado para la ejecución del proyecto debe contener como mínimo los siguientes aspectos:

- Nombre de las actividades, interdependencia y orden lógico ( Sucesoras, predecesoras o concurrente)
- Tiempos de inicio y finalización, incluyendo Preferiblemente los tiempos de inicio más temprano, tiempos de iniciación mas tardíos, tiempos de finalización mas tardíos y tiempos de finalización más tempranos, esto con el fin de determinar las holguras de cada actividad.
- Actividades que se encuentran involucradas en la **ruta critica del proyecto**.

- Recursos necesarios para la ejecución de las actividades (Mano de obra, maquinaria, herramientas y equipo) y su calendario de trabajo, dado que es necesario conocer la disponibilidad de tiempo de cada uno.
- Costo de cada una de las actividades con que componen el proyecto.

Entre las actividades que se deben definir para el proyecto, deben estar las reuniones de planificación a largo plazo, intermedia y semanal, esto con el fin de mejorar la gestión del proyecto.

**Tabla 4-3**. Etapas del proceso de planeación de proyectos

| TIPO DE REUNIÓN | DESCRIPCIÓN | PERIODICIDAD |
|---|---|---|
| **Planeación a largo plazo (General)** | Se refiere a la planificación de carácter táctico, en ella se definirán aspectos claves del proyecto, como su fecha de inicio y finalización, actividades, recursos y costos. Lo más importante en estas reuniones es que se gestionen los recursos de largo periodo de adquisición o baja repetitividad y otros recursos que se pueda adquirir en un solo pedido. | 1 Vez durante el proyecto |
| **Las reuniones de planeación a mediano plazo ( Intermedia)** | Las reuniones de planeación a mediano plazo son el complemento de planificación general que se realizó inicialmente. En estas reuniones las actividades se exploran detalladamente, lo que permite determinar las sub tareas y las restricciones que se puedan tener en el desarrollo de cada una.<br><br>Es importante que en estas reuniones se realicen planes de contingencias para prevenir las restricciones que cada actividad pueda tener.<br><br>Los recurso que se planifican en esta etapa son:<br><br>Recursos con mediano plazo de adquisición y algunas repeticiones de ciclo (Cemento, Ladrillo, Piedra, Arena, Tubería, etc)<br><br>Lotes de compra general las cuales son fragmentaciones del lote total gestionado en la reunión a largo plazo | Cada 5 semanas, el número de reuniones esta dado por la fórmula<br><br>**Días de duración del proyecto/ 37 días** |
| **Las reuniones de planeación a Corto plazo** | En estas reuniones se hará el proceso de planificación a un mayor nivel de detalle que en las anteriores.<br><br>En ellas se hará una evaluación de los indicadores calculados la semana anterior de la reunión y se formulará el plan de trabajo para la semana siguiente.<br><br>El objetivo principal de las reuniones semanales es conocer la causa raíz que provocaron las fallas en el | Una vez por semana, el numero de reuniones esta dado por la fórmula<br><br>**Días de duración del proyecto/** |

| TIPO DE REUNIÓN | DESCRIPCIÓN | PERIODICIDAD |
|---|---|---|
| | proceso constructivo e identificar como pueden prevenirse en el futuro. | **7 días** |

Fuente. El autor

Botero (2006) propone para el registro y la planificación general, intermedia y semanal los siguientes formatos:

**Tabla 4-4.** Registro de planificación semanal de proyectos

| **REGISTRO DE PLANIFICACIÓN SEMANAL**<br><br>**Nombre del proyecto:**<br>**Fecha Inicio de planeación:**<br>**Fecha de Finalización de la planeación:** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Actividad** | **Responsable** | **Recursos necesarios** | **Alcanzada** | | **Método de verificación** | **Gantt Semanal** | | | | | | | |
| | | | | | | 1 | 2 | 3 | . | . | . | . | |
| | | | Si | No | | L | M | X | J | V | S | D | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

Fuente. BOTERO, Luis (2006). Construcción sin pérdidas

**Tabla 4-5.** Registro de planificación Intermedia de proyectos

| **REGISTRO DE PLANIFICACIÓN INTERMEDIA**<br><br>**Nombre del proyecto:**<br><br>**Fecha Inicio de planeación:**<br><br>**Fecha de Finalización de la planeación:** | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Actividad** | **Responsable** | **Compromiso** | **Alcanzada** | | **Método de verificación** | **Gantt Semanal** | | | | | | | |
| | | | | | | 1 | 2 | 3 | . | . | . | . | |
| | | | Si | No | | L | M | X | J | V | S | D | |
| | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | |

Fuente. BOTERO, Luis (2006). Construcción sin pérdidas

## 4.6 Plan de recursos Humanos

El plan de recursos humanos consiste en la determinación del personal necesario para la ejecución del proyecto, los cuales posean el perfil necesario para ejercer el cargo, así como además definir la periodicidad y la disponibilidad de los mismos para que dentro del transcurso del proyecto no falte ni sobre mano de obra. Para ello antes del proceso de contratación es necesario definir el perfil necesario para ejercer la actividad así como el número de personas a requerir.

En caso de que el personal no se contrate directamente por la empresa ejecutora del proyecto, los que suministran el personal (Contratistas) deben garantizar el cumplimiento de los requisitos anteriormente mencionados, así como la disponibilidad de la mano de obra dependiendo del cronograma del proyecto.

La empresa ejecutora del proyecto debe contar con evaluaciones de desempeño de cada una de las personas que han laborado en ella así como las hojas de vida, para que en una futura contratación pueda ser más eficiente la elección del personal. Es importante luego de que se realiza la elección determinar las necesidades de capacitación para que el Director del Proyecto la persona encargada en la empresa programen cursos o seminarios sobre los temas que la persona necesite fortalecer.

El número de personas requeridas para trabajar en el proyecto debe ser definido mediante la planeación a largo plazo y luego ajustada mediante la planeación a mediano plazo; un ajuste de último minuto puede traer retrasos en la consecución del proyecto. Es importante que el Director del proyecto, el Gerente y el contratista encargado definan el numero de cuadrillas necesarias, las actividades a ejecutar por las cuadrillas y la fecha de inicio de las actividades por cada cuadrilla en la primera reunión de planeación para que luego sea más fácil realizar acciones correctivas en cuanto al tema de disponibilidad del recurso humano.

**Tabla 4-6.** Plan de Recursos Humanos

| Periodo de planeación | | | | Responsable | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Actividad | Predecesora | Fecha de inicio | Fecha de finalización | Nombre de la cuadrilla | Responsable de la cuadrilla | Número de personas de la cuadrilla |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Fuente. El autor

El modelo propuesto para realizar el plan del recurso humano es el siguiente:

**Tabla 4-7.** Perfil del personal requerido en los proyectos de construcción

| Nombre del cargo | Experiencia requerida | Cumple | | Formación requerida | Cumple | | Habilidades y competencias | Cumple o no cumple. | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Si | No | | si | no | | si | no | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

Fuente. El autor

Uno de los factores que mejoraría la productividad de la mano de obra en la construcción es el aprendizaje, este se da cuando que se repiten las actividades o ciclos de la misma haciendo que el tiempo empleado para su realización disminuya; es decir, su productividad aumente a medida que va repitiéndose la producción de un bien o servicio. Según **Nonaka y Takeguichi (1995),** existen diferentes niveles de aprendizaje dentro de las organizaciones, los cuales pueden ser identificados de la siguiente manera en los proyectos de construcción:

**Tabla 4-8.** Proceso de Aprendizaje Organizacional

| | |
|---|---|
| **Aprendizaje organizacional** | Se mide por la velocidad en que una organización aprende, en función de su producción, a suministrar productos o servicios. Este aprendizaje se logra mediante los métodos de trabajo, diseño del producto y métodos de producción |

| | |
|---|---|
| **Aprendizaje Personal** | Es adquirido por los operarios y en el claramente se distinguen dos etapas:<br><br>**Aprendizaje de la operación:** ocurre cuando se adquiere el conocimiento necesario para ejecutar la operación. En esta etapa la productividad aumenta considerablemente.<br><br>**Adquisición de la experiencia:** Este fenómeno ocurre después del anterior y en el cual se produce un aumento gradual de la productividad, pues el trabajador se ha familiarizado con su trabajo. La complejidad de las actividades para realizar, la capacidad de las personas y la motivación de las personas son factores que afectan el aprendizaje personal.<br><br>**Aprendizaje grupal:** Sucede cuando se realizan las actividades por medio de cuadrillas de trabajo; en aquel inciden el tamaño del grupo, el nivel de especialización y experiencia del grupo y los cambios de composición de este |

Fuente. BOTERO, Luis (2006). Construcción sin pérdidas

Según Botero (2006), la continuidad en el trabajo es la condición mas importante para obtener incrementos en la productividad. Esta continuidad se presenta en dos niveles

- **Continuidad Operacional:** Cuando las operaciones se realizan de manera idéntica o similar y siempre son realizadas por la misma persona.
- **Continuidad en la ejecución:** Cuando no se presentan interrupciones en el trabajo

Para garantizar las condiciones anteriormente descritas y aprovechar al máximo el proceso del aprendizaje en los proyectos de construcción deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Diseños de los proyectos que garanticen similitud de operaciones, para lograr alto número de repeticiones.
- Planificación permanente en todos los aspectos de la obra,
- Buena administración del proyecto.

## 4.7 Selección de los proveedores de recursos

Uno de los pasos fundamentales en el proceso de planeación, es garantizar la disponibilidad de los recursos en el proyecto, como son los materiales, herramientas y equipos. Muchas de las causas de la baja productividad en la construcción se debe a la no disponibilidad de recursos en el momento en que se va a realizar la actividad, ya sea porque en la planeación inicial no se incluyeron estos recursos, los proveedores no lo entregan en el tiempo estipulado o no se han seleccionado adecuadamente.

Para mejorar la gestión de los recursos es indispensable que en el proceso de planeación general se definan claramente los recursos necesarios para el proyecto, los proveedores, los planes de contingencia en caso de la no disponibilidad de algún recurso, las fechas en la que deben estar disponibles los recursos y además de que exista un seguimiento previo a los proveedores es decir que haya evidencia de como trabajaron anteriormente.

Una manera de evidenciar el desempeño de un proveedor es calificándolo al inicio y al final del proyecto, la norma ISO indica que a los proveedores se les debe realizar evaluaciones de su desempeño en función de su capacidad para suministrar productos de acuerdo a los requisitos de la organización; estos requisitos deben ser establecidos por la empresa ejecutora del proyecto y controlarlo según el impacto que tenga el recurso dentro del proyecto en caso de no contar con él.

Entre los requisitos con que deben contar los proveedores están los siguientes:

**Tabla 4-9.** Requisitos para selección de los proveedores

| | | | |
|---|---|---|---|
| **ESTRATEGICO** | 5 | Imagen | % de cumplimiento en la entrega de pedidos |
| | 5 | Experiencia | Años en el Mercado |
| | 5 | Ubicación | Ciudad/ Sede |
| **TECNICO** | 7 | Capacidad | Capacidad Disponible |
| | 4 | Cumplimiento de Normas | Normatividad apropiada |
| | 4 | Personal | Nivel de Capacitación |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 8 | Características Técnicas del Producto | % de cumplimiento |
| | 7 | Asistencia Técnica | Tiempo de Respuesta |
| COMERCIAL | 9 | Precio del Producto | Precio Competitivo |
| | 10 | Calidad del Producto | Calidad |
| | 9 | Servicio al Cliente | Atención Quejas y Asesoría técnica |
| | 7 | Políticas de Crédito | Descuentos por Pago |

Fuente. El autor

## 4.8 Elaboración y aplicación de herramientas para la identificación y la reducción de pérdidas en los proyectos de construcción.

Antes y durante el proceso de ejecución del proyecto es necesario utilizar herramientas para detectar y reducir las pérdidas en el proceso constructivo. La filosofía Lean plantea que los proyectos de construcción se ven afectados por causas controlables y no controlables las cuales deben ser identificadas y categorizadas para conocer su impacto dentro de la productividad.

Existen herramientas utilizadas en la Gestión de la calidad que pueden ser aplicadas para identificar estas causas y poder hallar una solución optima, entre ellas están el Diagrama de Pareto y el Diagrama Causa efecto.

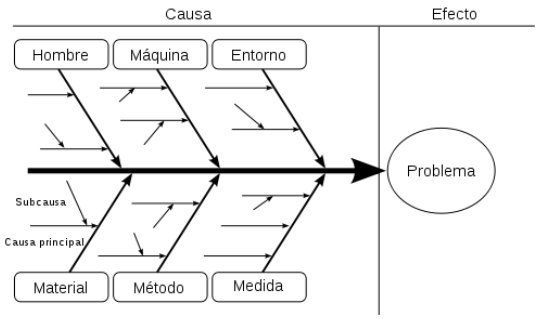
### 4.8.1 Diagrama de Pareto

El diagrama permite mostrar gráficamente el principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), es decir, que hay muchos problemas sin importancia frente a unos pocos graves. Mediante la gráfica colocamos los "pocos vitales" a la izquierda y los "muchos triviales" a la derecha.

## 4.8.2 Diagrama Causa Efecto

Se trata de un diagrama que por su estructura ha venido a llamarse también: diagrama de espina de pescado, que consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha.

**Figura 4-1.**Diagrama Causa Efecto




Fuente. El autor

Según Koskela (1991), otro principio para el mejoramiento del desempeño de proyectos de construcción es la categorización del tiempo empleado en cada una de las actividades. Los tiempos totales de trabajo en un proyecto pueden categorizarse como:

**Tabla 4-10.** Distribución de tiempos en los proyectos de construcción

| | |
|---|---|
| **Trabajo Productivo** | Este se define como el tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna actividad. |
| **Trabajo Contributivo** | Este se define como el tiempo empleado por el trabajador en labores de apoyo para que se ejecuten las actividades productivas |
| **Trabajo No contributivo** | Se define como cualquier otra actividad realizada por los obreros y no se clasifique en las anteriores categorías |

Fuente. BOTERO, Luis (2005). Construcción sin pérdidas

La eficiencia en el proceso productivo se me mejorada entonces por la minimización del tiempo destinado al trabajo contributivo y eliminado el tiempo no contributivo. Según Alarcón (1993) es necesario utilizar técnicas como el muestreo del trabajo, encuestas de demoras y cartas de balance, pues se asume que al identificar las categorías y causas de las pérdidas en la construcción, se incrementa la productividad.

## 4.8.3 Muestreo del trabajo

Consiste en observar repetidas veces al obrero en su sitio de trabajo, estas observaciones deben ser cortas y categorizadas en grupos para encontrar un patrón o tendencia. Las mediciones deben ser aleatorias para luego analizarlas estadísticamente.

**Tabla 4-11.** Formato de registro de tiempos en los proyectos de construcción

| | | | **Distribución de tiempo (Min)** | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Nombre del obrero** | **Área donde esta laborando** | **Tiempo total de la actividad realizada (Min)** | **T.P Tiempo Productivo** | **T.C Tiempo contributivo** | **T.N.C Tiempo no Contributivo** | **Observaciones encontradas** |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Fuente. Botero, Luis (2006). Construcción sin pérdidas

## 4.8.4 Encuestas de detenciones y esperas

Este formato es utilizado para identificar las causas más frecuentes de las interrupciones en el trabajo y como inciden los recursos desperdiciados. Es recomendable que el Maestro de Obra diligencie el formato diariamente para luego entregarlo al Director del Proyecto y así se propongan acciones concretas dirigidas a resolver los problemas encontrados.

**Tabla 4-12.** Formato de encuesta sobre las pérdidas en los procesos de construcción

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Nombre de la cuadrilla | | Fecha de la encuesta | | |
| Actividades constructivas realizadas | | Numero de obreros de la cuadrilla | | |
| **Problemas que producen las interrupciones en el trabajo** | | Horas Hombre pérdidas | | |
| | | Número de horas | Numero de Obreros | Horas Hombre perdidas |
| Esperando Material (Bodega) | | | | |
| Esperando por materiales | | | | |
| Esperando por herramientas no disponibles | | | | |
| Esperando por equipos | | | | |
| Modificaciones por el diseño | | | | |
| Modificaciones por errores de prefabricación | | | | |
| Modificaciones por errores de construcción | | | | |
| Traslados a otras áreas de trabajo | | | | |
| Esperando por información | | | | |
| Interferencia con otras cuadrillas | | | | |
| Sectores congestionados con trabajadores | | | | |
| Otros | | | | |

Fuente. BOTERO, Luis (2006). Construcción sin pérdidas

## 4.8.5 Encuestas de identificación de pérdidas

Este formato es también utilizado para la identificación de pérdidas en proyectos de construcción, pero a diferencia de la encuesta de detecciones y demoras, este formato está diseñado para ser diligenciado por el personal de dirección del proyecto.

**Identifique cuales son las 5 pérdidas más frecuentes, según su percepción.**

**Tabla 4-13.** Encuesta para la reducción de pérdidas en los procesos constructivos

| | |
|---|---|
| Trabajo sin hacer | |
| Retrocesos | |
| Trabajo Innecesario | |

| | |
|---|---|
| Errores | |
| Detenciones | |
| Pérdidas de materiales | |
| Deterioro de materiales | |
| Movimiento innecesario del personal | |
| Movimiento innecesario del material | |
| Exceso de Vigilancia | |
| Retraso en las actividades | |
| Procesamiento extra | |
| Desgaste anormal de equipos | |
| Necesidad de instrucciones extras | |
| Requerimiento excesivo de espacio | |

Fuente. BOTERO, Luis (2006). Construcción sin pérdidas

# 5. Proyecto objeto de aplicación de la metodología Lean

**Tabla 5-1.** Caracterización del proyecto objeto de estudio

| PROYECTO | |
|---|---|
| **Nombre de la empresa constructora** | H&G construcciones LTDA |
| **Objeto del proyecto** | Construcción de un Armerillo para las Fuerzas Armadas de Colombia |
| **Duración** | 3 Meses |
| **Costo** | 350.000.000 |
| **Interventor** | Armada Nacional |
| **Ubicación** | Corozal Sucre |

Fuente. El autor

## 5.1 Sensibilización y determinación de los requisitos del cliente

El proyecto donde fue aplicada la metodología propuesta para el mejoramiento de la productividad basada en la filosofía Lean Construction se realizó en la ciudad de Corozal, Departamento de Sucre, durante los meses de Mayo y Agosto de 2011. El objeto del presente contrato fue la de construir un Armerillo[5] para las Fuerzas Armadas de Colombia, el cual es un sitio donde se deposita todo el armamento de la guarnición militar.

Como primer paso para la implementación de la filosofía Lean, se realizó la sensibilización en los temas de Lean Construction para los directivos, personal encargado de la planeación y ejecución del proyecto y contratistas los cuales hacen parte del engranaje en las etapas del proyecto. Esta capacitación fue impartida con antelación al proceso de planeación que se plasmaría como guía para desarrollar el proyecto.

La siguiente tabla muestra el plan de capacitación para los responsables del proyecto:

[5] Lugar donde se guardan las municiones de las fuerzas armadas

**Tabla 5-2.** Programa de capacitaciones

| TEMA | ASISTENTES | DURACIÓN | FECHA |
|---|---|---|---|
| **Que es Lean Construction** | Gerente, Director de Proyecto, Maestros de Obra, Contratistas y Diseñadores | 2 horas | 04/05/2011 |
| **Productividad** | Gerente, Director de Proyecto, Maestros de Obra, Contratistas y Diseñadores | 2 horas | 04/05/2011 |
| **Metodología para la implementación del Lean Construction Parte 1** | Gerente, Director de Proyecto, Maestros de Obra, Contratistas y Diseñadores | 2 horas | 05/05/2011 |
| **Metodología para la implementación del Lean Construction Parte 2** | Gerente, Director de Proyecto, Maestros de Obra, Contratistas y Diseñadores | 2 horas | 05/05/2011 |

Fuente. El autor

La medición en la efectividad de estas capacitaciones se realizó a través de preguntas que se realizaron a cada uno de los participantes, el propósito era determinar el nivel de entendimiento en tema.

Luego de haber impartido las capacitaciones, se procedió a identificar los requisitos del cliente los cuales conforman una base importante para la elaboración de una buena planeación, para ello se reunieron el Gerente de la Empresa, El Director del Proyecto, y el Diseñador, quienes conceptualizaron los aspectos más relevantes que estaban dentro del pliego de condiciones y el contrato del proyecto y los trasformaron en requisitos del cliente.

Entre los requisitos más importantes que el cliente requería en el proyecto estaban:

- **Tiempo total en la ejecución del proyecto**: El tiempo de ejecución no debía ser superior a tres meses ( 3) luego de la firma del contrato

- **Pruebas en la resistencia del concreto:** Estas pruebas debían ser realizadas por una empresa certificada o con experiencia en esta actividad.

- **El Director de Proyecto**: El Director del Proyecto debía cumplir con unos requisitos de por lo menos 5 años de experiencia en el área de construcción y ser Arquitecto o Ingeniero Civil de profesión.

Los requisitos anteriormente mencionados fueron tenidos en cuenta durante el proceso de planeación del proyecto, estos fueron incorporados en cada etapa del proceso y se fundamentaron en la filosofía Lean Construction.

Para la contratación del Director de Proyectos se tuvo en cuenta la experiencia, las habilidades y competencias requeridas teniendo en cuenta los requisitos del cliente. El proceso de selección de este funcionario se muestra en el Anexo E

## 5.2 Indicadores de medición de la productividad

Como elemento para la medición de la productividad se construyeron indicadores. La siguiente tabla muestra los indicadores que se construyeron para la medición de la productividad del proyecto:

**Tabla 5-3.** Indicadores de medición para el proyecto

| Resultado | Nombre | Indicador | Tiempo de Medición | Meta |
|---|---|---|---|---|
| **Costo** | Variación del costo | Costo Actual/ Costo Presupuestado | Semanal | 95% |
| **Plazo** | Variación del plazo | Duración Actual / Duración Programada | Mensual | <=100% |
| **Consumo Mano De Obra** | Eficiencia en Mano de Obra | Horas Hombre actual/ Horas Hombre Planeada | Semanal | <=100% |
| | | Costo mano de Obra/ Costo mano de Obra Presupuestado | Mensual | <=100% |
| **INDICADORES DE PROCESO** | | | | |
| **Resultado** | **Nombre** | **Indicador** | **Tiempo de Medición** | **Meta** |
| | Reproceso | Horas hombre de reproceso/ Horas hombre total | Semanal | <5% |
| **Compras y Adquisiciones** | Tiempo de Ciclo de Compras | Tiempo entre la aprobación de la compra y la entrega de materiales en terreno | Semanal | 2 |
| | Pedidos Urgentes | Numero de pedidos Urgente/ Total de Pedidos | Semanal | <10% |
| **Planificación** | Efectividad en la Planificación | PAC (Porcentaje de Actividades Completadas) | Semanal | >80% |

Fuente. El autor

La medición de estos indicadores la realizó el Director de Proyecto en conjunto con el Maestro de Obra, los cuales trataban los resultados obtenidos en las reuniones semanales. La retroalimentación y las acciones de mejora se documentaron en las actas de reunión del proyecto, en donde se asignaban responsables, recursos y tiempos de ejecución.

Los indicadores los cuales mostraron mejora a través de la implementación de la Filosofía Lean son los de compras, plazos de ejecución y PAC, en ellos lograron que el proyecto se pudiera realizar en el tiempo presupuestado.

En el Anexo E, se encuentra el consolidado de los indicadores de medición de la productividad y como fue su evolución según la frecuencia de medición de cada uno de ellos.

Las actas de las reuniones que se realizaron para este proyecto no fueron suministrados por la empresa constructora ya que contenían información confidencial del Gobierno Nacional y las Fuerzas Militares de Colombia

## 5.3 Cronograma

El cronograma del proyecto fue construido en Microsoft Project, esta herramienta informática facilita la visualización de los tiempos, recursos, ruta crítica y las actividades realizadas en el. La construcción del cronograma se llevo a cabo por el Director del Proyecto con la posterior revisión por parte del Gerente y los contratistas involucrados en el. Este cronograma como lo indica el Anexo E contiene los siguientes puntos:

1. Tiempos
2. Actividades
3. Precedencia
4. Recursos
5. Responsables

La diferencia de tiempos y plazos en la planeación se establecieron en un intervalo de tres reuniones, la siguiente tabla muestra el tiempo establecido y utilizado para cada reunión.

**Tabla 5-4.** Programación de reuniones del proyecto

| TIPO DE REUNIÓN | META | RESULTADO | FECHA |
|---|---|---|---|
| **A largo plazo** | 1 reunión por proyecto | 1 Reunión | 2 de Abril de 2011 |
| **A mediano plazo** | 90 días / 37 días | 2 Reuniones | Mayo 10 de 2011<br>Junio 15 de 2011 |
| **A corto plazo** | 90 Días/ 7 Días | 13 Reuniones | Semanales iniciando el 11 de Abril de 2011 |

Fuente. El autor

Las fechas de reuniones se cumplieron en su totalidad, así como la cantidad de reuniones necesarias de planeación. El Gerente de la empresa a través de correos electrónicos informaba con dos días de anticipación la fecha y hora de la reunión a todos los participantes, por lo que la asistencia fue puntual y completa

El cronograma fue pieza fundamental para la medición de los indicadores referente a tiempos de entrega de las actividades, costos y plazo s de entrega así como facilitó la programación de recursos y la construcción de canales de comunicación para el proyecto.

## 5.4 Selección de los proveedores

Para la selección de proveedores en este proyecto se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos, los cuales fueron definidos por el Gerente y el Director de Proyectos antes de su selección. Los requisitos para esta selección fueron los siguientes:

- Documentación legal de la empresa (RUT y Cámara de Comercio)
- Carta donde se garantizaba el suministro de materiales, herramientas y equipos por parte del proveedor en la temporalidad necesaria por el proyecto

- Formato de registro de proveedores

Luego de suministrada esta documentación por parte de los proveedores a la empresa, se les evaluó siguiendo los siguientes parámetros mostrados en la tabla.

**Tabla 5-5.** Parámetros para la escogencia de los proveedores

| | |
|---|---|
| Imagen | % de cumplimiento en la entrega de pedidos |
| Experiencia | Años en el Mercado |
| Ubicación | Ciudad/ Sede |
| Capacidad | Capacidad Disponible |
| Cumplimiento de Normas | Normatividad Apropiada |
| Personal | Nivel de Capacitación |
| Característica Técnicas del producto | % de cumplimiento |
| Asistencia técnica | Tiempo de Respuesta |
| Precio del Producto | Precio Competitivo |
| Calidad del Producto | Calidad |
| Servicio al Cliente | Atención Quejas y Asesoría técnica |
| Políticas de Crédito | Descuentos por Pago |

Fuente. El autor

Las evaluaciones de los proveedores elegidos para este proyecto se encuentran el Anexo E.

En el principio del proyecto existieron inconvenientes por el suministro de materiales por parte de dos proveedores, lo que produjo retraso en la actividad de cimentación, esos retrasos se dieron por retraso en los pagos por parte de la empresa. Este inconveniente fue solucionado gracias a las conversación que tuvo el Gerente con los proveedores, en la cual fue acordada la fecha de pago de los pedidos.

## 5.5 Distribución y asignación de responsabilidades por cuadrillas

Para la asignación de responsabilidades dentro del proyecto se tuvo en cuenta el rendimiento de cada cuadrilla en la ejecución de labores en m2 de construcción, su experiencia laboral, número máximo de personas asignado para ocupar un espacio en el terreno en el cual se ejecuta la obra, disponibilidad de herramientas y equipos. Estos datos permitieron programar acertadamente los tiempos en cada una de las actividades y visualizar los recursos necesarios para evitar al máximo los posibles retrasos durante la ejecución del proyecto.

**Tabla 5-6.**Asignación de cuadrillas a las actividades del proyecto

| | **Periodo de planeación** | 10/05/2011 - 05/08/2011 | | | **Responsable** | **Director de Proyecto** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Actividad** | **Predecesora** | **Fecha de inicio** | **Fecha de finalización** | **Nombre de la cuadrilla** | **Responsable de la cuadrilla** | **Número de personas de la cuadrilla** |
| 1 | Preliminares | | 10-may | 15-may | Cuadrilla 1 | Maestro de Obra 1 | 2 |
| 2 | Preparación del Terreno y Excavación | 1 | 17-may | 23-may | Cuadrilla 1 | Maestro de Obra 1 | 6 |
| 3 | Cimentación y Estructura | 2 | 25-may | 13-jun | Cuadrilla 1 y 2 | Maestro de Obra 1 y 2 | 10 |
| 4 | Mampostería | 3 | 14-jun | 10-jul | Cuadrilla 1 y 2 | Maestro de Obra 1 y 2 | 10 |
| 5 | Pañete y Pisos | 4 | 20-jun | 20-jul | Cuadrilla 1 y 2 | Maestro de Obra 1 y 2 | 10 |
| 6 | Estructura y Cubierta | 5 | 15-jul | 25-jul | Cuadrilla 1 y 2 | Maestro de Obra 1 y 2 | 10 |
| 7 | Instalaciones Eléctricas | 4 | 12-jun | 30-jul | Cuadrilla 3 | Maestro de Obra 1 | 6 |
| 8 | Instalaciones Sanitarias | 4 | 25-jul | 05-ago | Cuadrilla 2 | Maestro de Obra 1 | 6 |

Fuente. El autor

La asignación de responsabilidades se realizó diariamente por parte del Maestro de Obra hacia los Operarios; durante las reuniones semanales el Director de Proyectos junto con el Maestro identificaban las actividades criticas y que merecían más atención para darle a estas un trato especial durante la semana, esta estrategia dió como resultado que la ruta critica del proyecto no tuviera retrasos sustanciales.

A las personas que pertenecían a las cuadrillas de construcción del proyecto, le fueron dadas las herramientas y equipos necesarios para que no existieran desplazamientos a otras áreas de trabajo para conseguirlas, esto agilizó las actividades ya que uno de los principales inconvenientes que se habían presentado en proyectos anteriores realizados por la misma empresa era la no disponibilidad de herramientas y equipos.

## 5.6 Identificación y reducción de pérdidas en el proyecto de construcción.

En la primera semana de ejecución del proyecto se hizo entrega al Maestro de Obra de la encuesta en la cual quedaron plasmadas las falencias detectadas durante la ejecución del proyecto y que fueron la causa de las pérdidas durante el proceso, la encuesta arrojó el siguiente resultado:

**Tabla 5-7.** Resultados de la medición de tiempos no productivos en el proceso constructivo

| Nombre de la Cuadrilla | Cuadrilla 1,2 y 3 | Fecha de la Encuesta | 17/07/2011 | |
|---|---|---|---|---|
| Actividades Realizadas | Preparación del Terreno y Excavación | Numero de obreros en la cuadrilla | 5 | |
| **Inconvenientes producidos por interrupciones en el trabajo** | | Horas Hombre perdidas | | |
| | | Número de horas | Numero de Obreros | Horas Hombre perdidas |
| Esperando Material ( Bodega) | | 0 | 0 | 0 |
| Esperando por materiales | | 3 | 3 | 9 |
| Esperando por herramientas no disponibles | | 2 | 2 | 4 |
| Esperando por equipos | | 2 | 5 | 10 |
| Modificaciones por el diseño | | 0 | 0 | 0 |
| Modificaciones por errores de prefabricación | | 0 | 0 | 0 |

| Nombre de la Cuadrilla | Cuadrilla 1,2 y 3 | Fecha de la Encuesta | 17/07/2011 |
|---|---|---|---|
| Actividades Realizadas | Preparación del Terreno y Excavación | Numero de obreros en la cuadrilla | 5 |

| **Inconvenientes producidos por interrupciones en el trabajo** | Horas Hombre perdidas | | |
|---|---|---|---|
| | Número de horas | Numero de Obreros | Horas Hombre perdidas |
| Modificaciones por errores de construcción | 0 | 0 | 0 |
| Traslados a otras áreas de trabajo | 0 | 0 | 0 |
| Esperando por información | 1 | 1 | 1 |
| Interferencia con otras cuadrillas | 0 | 0 | 0 |
| Otros | 0 | 0 | 0 |

Fuente. El autor

Las demoras iniciales produjeron un retraso de 24 horas, la mayor parte del retraso se debió a la tardanza en la llegada de la máquina retro excavadora y la moto niveladora. Esto produjo que los obreros no pudieran empezar su jornada laboral ya que las máquinas cumplen con unas funciones específicas que van encadenadas a la mano de obra. La causa principal del inconveniente fue que no se programó el alquiler por parte del dueño y la envío para otra obra.

Las otras ocho encuestas realizadas arrojaron un consolidado de pérdidas en el proceso el cual se evidencia la tabla Consolidado de pérdidas durante el proyecto que se encuentra en el Anexo E.

Las siguientes figuras muestran el acumulado de pérdidas y su porcentaje de ocurrencia durante el transcurso del proyecto:

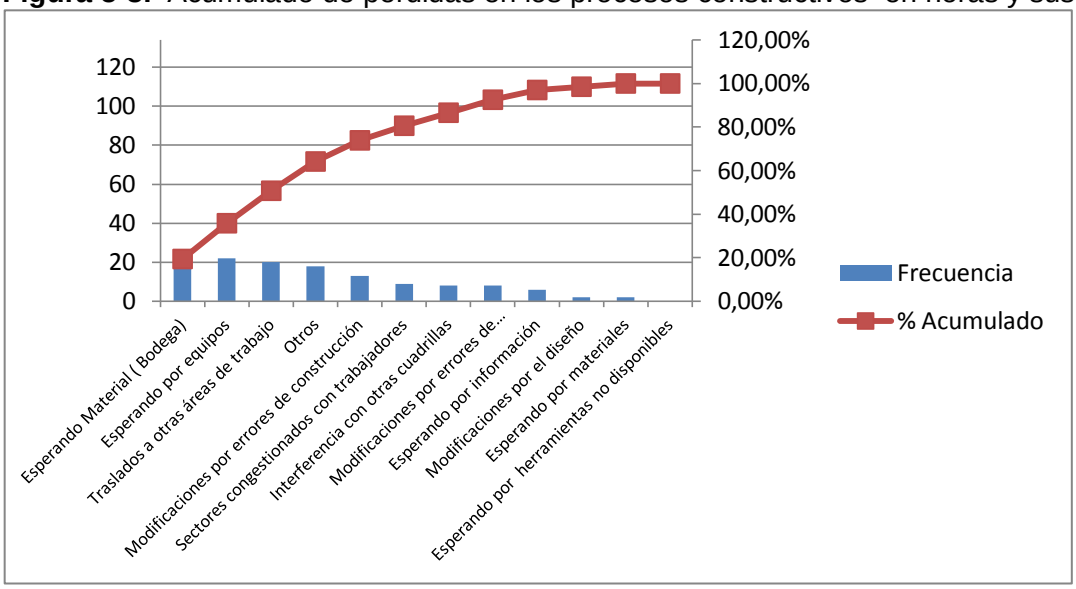
**Figura 5-1.** Acumulación de pérdidas semanales (Horas)

Fuente. El autor

**Figura 5-2.** Tipos de pérdidas en el proyecto objeto de estudio

Fuente. El autor

**Figura 5-3.** Acumulado de pérdidas en los procesos constructivos en horas y sus causas




Fuente. El autor

Las causas de las pérdidas en la ejecución del proyecto fueron tratadas durante las reuniones semanales, en las cuales participaron el Gerente, el Director del Proyecto, Maestro de Obra y los Contratistas. En la figura se evidencia una reducción de las pérdidas en más del 70% luego del proceso de implementación de las acciones de mejora y la visualización de los factores que inciden en las pérdidas del proceso constructivo. El cuadro acciones de mejoras aplicadas al proyecto objeto de estudio que se encuentra en el Anexo E, se evidencian las estrategias implementadas para mejorar la gestión en algunos procesos durante la ejecución del proyecto

Las acciones tomadas para minimizar las pérdidas en el proceso contractivo fueron eficaces en su implementación, el éxito de estas se dió por el compromiso de la Gerencia y la Dirección del Proyecto hacia la mejora continua y la constante mejora continua en los procesos.

Los resultados arrojados por la implementación de los preceptos de la filosofía Lean Construction produjeron un cambio en la gestión administrativa del proyecto y en la manera de cómo se realizaban las actividades. La identificación de pérdidas y la medición de los tiempos de construcción junto con la cultura de la mejora continua formaron parte de las acciones de mejora que ondearon en el aumento de la productividad.

# 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La implementación y aplicación de la Filosofía Lean al proyecto de construcción arrojó resultados favorables en cuanto a la gestión administrativa, proceso de planeación y ejecución del proyecto, se evidenció una reducción considerable en las pérdidas generadas durante el proceso constructivo y por consiguiente una mejora en la productividad. Lo anterior se dio gracias al compromiso de la Gerencia y de las partes interesadas en el proyecto, a la aplicación de la metodología y al avance del mejoramiento continuo en los procesos; resultado de la planeación realizada en las reuniones programadas semanalmente.

Las empresas de construcción que busquen el mejoramiento en la productividad de los proyectos que se llevan a cabo, deben empezar por capacitar y comprometer al personal asignado en la planeación y ejecución de los proyectos en temas de gestión administrativa. De esta forma se facilitará la aplicación de estos principios adecuadamente, en el proyecto objeto de la implementación de la metodología Lean se evidenció que las personas capacitadas y con un alto grado de compromiso en el mejoramiento continuo aportaron sugerencias para encontrar soluciones en sus procesos enfocándose en la productividad y reducción de pérdidas en el proceso constructivo.

Los recursos utilizados en el desarrollo del proyecto de construcción como materiales, herramientas, maquinaria y equipos deben ser prioridad en el proceso de planeación, teniendo en cuenta que la ausencia de estos en la obra ocasiona aproximadamente el 60% de los tiempos no contributivos y aumenta los tiempos colaborativos, teniendo como resultado un factor negativo que afecta la productividad.

Dentro del proceso de planeación se debe realizar la programación de recursos necesarios tanto semanal como general, con el fin de garantizar la disponibilidad de estos durante la ejecución de los proyectos y evitar retrasos que vayan en detrimento de la productividad, es indispensable que se establezcan los compromisos con los proveedores de estos recursos y así obtener confiabilidad en la total disponibilidad de las cantidades solicitadas en el tiempo requerido y programado. Los retrasos que se dieron en el proyecto objeto de la aplicación de la metodología se generaron por la no

disponibilidad de algunos materiales, herramientas y equipos que se hacían absolutamente indispensables en momentos determinados. La selección de los proveedores se debe realizar en forma detallada y precisa teniendo en cuenta variables como tiempo de entrega, disponibilidad de los recursos, etc., y no centrando la atención tan solo en el valor que ellos ofrezcan ya que esta sola variable no garantiza la certeza de contar con los recursos según los parámetros necesarios para que se beneficie la productividad en el proyecto.

La toma de tiempos y su tabulación permiten descubrir las causas principales de las pérdidas en los procesos de construcción, es necesario que las empresas enseñen a manejar tanto a los Maestros de Obra como a los Directores de Proyecto los formatos de recolección de tiempos y la tabulación de los mismos.

Se debe fomentar la cultura de medición en los procesos de construcción, dado que sin estos es muy difícil realizar un proceso de mejora continua e interpretación de la información. Se deben impartir las capacitaciones al personal en todo lo referente a la interpretación de los indicadores.

Una interpretación acertada de estos datos da origen a la identificación de las pérdidas y al impacto hallado en la productividad, los indicadores de medición de la productividad hacen posible que las mejoras sean visibles.

La aplicación de software especializados como Microsoft Project y otros del paquete Office se hacen necesarios para la interpretación, captura y organización de la información. En el proyecto objeto de la aplicación de la filosofía Lean fueron utilizados estos recursos observando mejores resultados en la toma de decisiones obteniendo soluciones más acertadas, gracias a la organización de la información

Los datos encontrados para esta investigación son del año 2005 – 2006, situación que evidencia en Colombia que el tema de la productividad en la construcción no está lo suficientemente generalizado, ni asimilado por las constructoras y personal asignado a los procesos de planeación. Es de vital importancia que exista una masificación de esta filosofía a nivel nacional para que la industria inicie procesos competitivos con respecto a otras industrias como la manufacturera, las cuales a través de modelos de gestión han logrado mejoras en la productividad de las operaciones.

# A. Anexo: Marco Teórico y Estado Actual del Problema

2. Proceso de generación de conocimiento y aprendizaje

El proceso de creación del conocimiento para Nonaka y Takeuchi (1995) es a través de un modelo de generación de conocimiento mediante dos espirales de contenido epistemológico y ontológico**.

Es un proceso de interacción entre conocimiento tácito y explícito que tiene naturaleza dinámica y continua. Se constituye en una espiral permanente de transformación ontológica interna de conocimiento, desarrollada siguiendo las siguientes cuatro fases:

1. Socialización: Es el proceso de adquirir conocimiento tácito a través de compartir experiencias por medio de exposiciones orales, documentos, manuales y tradiciones y que añade el conocimiento novedoso a la base colectiva que posee la organización.

2. Exteriorización: Es el proceso de convertir conocimiento tácito en conceptos explícitos que supone hacer tangible mediante el uso de metáforas, conocimiento de por sí difícil de comunicar, integrándolo en la cultura de la organización. La exteriorización es la actividad esencial en la creación del conocimiento.

3. Combinación: Es el proceso de crear conocimiento explícito al reunir conocimiento explícito proveniente de cierto número de fuentes, mediante el intercambio de conversaciones telefónicas, reuniones, correos, etc., y se puede categorizar, confrontar y clasificar para formar bases de datos para producir conocimiento explícito.

4. Interiorización: Es el proceso de incorporación de conocimiento explícito en conocimiento tácito, que analiza las experiencias adquiridas en la puesta en práctica de los nuevos conocimientos y que se incorpora en las bases de conocimiento tácito de los

miembros de la organización en la forma de modelos mentales compartidos o prácticas de trabajo.

La creación del conocimiento es lo que permite en conjunto con la implementación de nuevas tecnologías, que las organizaciones mejoren su productividad. Sin embargo, en la construcción debido a la alta rotación del personal y la deficiencia en políticas de capacitación, la transferencia del conocimiento tácito a conocimiento explícito es muy limitada, lo que no permite que los niveles de productividad se incrementen constantemente. Así mismo, no hay incentivos que ayuden a que el conocimiento adquirido con la experiencia sea transmitido a la organización.

En las organizaciones dedicadas a la construcción, los sistemas de gestión de la calidad son lo que permiten que exista una transferencia del conocimiento y que se presente un aprendizaje organizacional e individual.

No obstante, la mayoría de las organizaciones consideran los sistemas de gestión de la calidad como un requisito para la obtención de un certificado que les permita formar parte de un grupo selecto de oferentes y no como una herramienta para el mejoramiento de los procesos a través del aprendizaje.

Para lograr aprendizaje en el sector de la construcción es fundamental que la planeación sea permanente en todos los aspectos de las obras y que exista una gestión eficiente por parte de los administradores de los proyectos. Así mismo, debe existir transferencia del conocimiento a través de las acciones correctivas y preventivas en los diferentes proyectos, y las compañías deben tener un mecanismo que permita transmitir las acciones a toda la organización.

## 3. Causas que generan pérdidas en el proceso de producción de la construcción

### 3.1 Problemas de diseño

Una de las principales causas de esperas, reprocesos y demás interferencias en el proceso de producción en la construcción se deben a problemas en los diseños. Los problemas en los diseños se presentan principalmente por la costumbre de iniciar la construcción con diseños incompletos, así como con diseños que no han sido coordinados y que presentan inconsistencias entre los mismos.

### 3.2 Deficiente administración

La logística de la construcción requiere de planeación y control de la planeación, lo cual se logra bajo un estricto seguimiento del proceso de producción. La organización de personal para los proyectos de construcción se enfoca hacia la experiencia técnica y no hacia la capacidad de gestión del personal que estará a cargo de los proyectos.

El personal a cargo de los proyectos no es capacitado para liderar y gestionar eficientemente el proceso de producción. La administración de los proyectos se realiza bajo el esquema de solución de problemas y no bajo un esquema de planeación de la producción.

### 3.3 Métodos de trabajo inadecuados

En la construcción no hay una cultura arraigada de medición, que permita controlar y mejorar los diferentes procesos de producción. La planeación y control de la misma, permitiría detectar métodos más eficientes para realizar las actividades de construcción, al analizar y optimizar los diferentes recursos.

### 3.4 Problemas del recurso humano

El rendimiento de la construcción depende principalmente del recurso humano, sin embargo las organizaciones no cuentan con políticas enfocadas hacia la gestión del recurso humano. La alta rotación no permite que haya un aprendizaje de las actividades que permita mejorar el rendimiento de las mismas.

### 3.5 Problemas de seguridad industrial

El sector de la construcción convive con niveles altos de accidentalidad. Así como la planeación, los administradores de los proyectos de construcción consideran el tiempo y los recursos invertidos en mejorar la seguridad industrial de los proyectos en poco productivos.

### 3.6 Sistemas de control

El control de la producción en la construcción se enfoca principalmente en la medición de las desviaciones del costo y el tiempo. No existe una cultura proactiva que permita controlar anticipadamente las diferentes actividades o tomar acciones correctivas en el momento adecuado.

### 3.7 Grupos de apoyo deficientes

Las deficiencias en planeación, presupuestación y contratación (compras), no permiten que los administradores de los proyectos cuenten con los recursos necesarios a tiempo para ejecutar las diferentes actividades.

4. Causas de pérdidas en la construcción

El arquitecto Luis Fernando Botero (2006), clasifica de la siguiente manera las causas que determinan las pérdidas en los procesos de producción en la construcción:

4.1 Causas controlables

- Flujos: Falta de recursos y falta de información.
- Conversiones: Método inapropiado, planeación deficiente y calidad deficiente.
- Administración: Toma de decisiones (mala distribución y malas instalaciones) y control ineficaz.

4.2 Causas no controlables

- Fallas en flujos externos.
- Causas externas.

3. PRINCIPIOS PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

Koskela (1992), en su reporte técnico establece los siguientes principios para el mejoramiento del proceso de producción:

- REDUCIR LAS ACTIVIDADES QUE NO AGREGAN VALOR.

Las actividades que agregan valor, son aquellas en las que los materiales o la información son transformados cumpliendo con los requerimientos del cliente. Las actividades que no

generan valor (pérdidas), son aquellas que consumen tiempo, recursos y espacio pero no agregan valor al producto final.

Las investigaciones realizadas a nivel mundial y la experiencia han demostrado que las actividades que no agregan valor dominan la mayoría de los procesos. Generalmente, solo un 3% a un 20% de las actividades agregan valor (Ciampa, 1991).

Koskela, identifica tres causas raíz en las actividades que no generan valor: diseño, desconocimiento de técnicas de gestión y la naturaleza inherente de la producción.

Los diseños de los proyectos de construcción, elaborados por diferentes especialistas y la falta de coordinación de los mismos, incrementan las actividades que no agregan valor. El enfoque más técnico que de gestión en los proyectos, con ausencia casi total de planeación y control de la misma (medición de los flujos), por falta de capacitación en herramientas administrativas al personal encargado de la dirección de los proyectos propicia el incremento de las actividades que no generan valor. Así mismo, la naturaleza de la producción acepta y convive con los errores, defectos, accidentes, etc., inherentes a los procesos.

Sin embargo, algunas actividades que no generan valor para el cliente externo, son necesarias y generan valor para el cliente interno, por lo tanto, dichas actividades deben ser ejecutadas de la mejor manera buscando la mayor eficiencia y efectividad, lo que se traduce en una mejora para el proceso global.

La planificación de los proyectos ayuda a detectar los procesos de conversión y de flujo, permitiendo actuar sobre las actividades que deben ser eliminadas y las que pueden ser ejecutadas de una manera más eficiente.

- Incremento del producto final considerando sistemáticamente los requerimientos del cliente. El valor del producto final se obtiene mediante la satisfacción de los requerimientos del cliente y no por la conversión como tal. Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de clientes, el interno (las actividades subsecuentes) y el externo (cliente final). En los procesos de producción en el sector de la construcción, los clientes no están claramente definidos, ni los requerimientos de los mismos, el objetivo que predomina en la construcción es minimizar los costos en cada etapa.

La aplicación del principio radica en caracterizar los procesos e identificar y analizar cada cliente (internos y externos) y los requerimientos del mismo. Para la aplicación de este

principio es fundamental que la caracterización se realice desde la concepción del proyecto, en la coordinación de los diseños y durante el proceso de construcción, investigando y detallando los requisitos por etapa hasta la entrega al cliente final.

- Reducción de la variabilidad. Los procesos de producción son variables. Según Koskela, existen dos razones para reducir la variabilidad de los procesos. La primera, es que desde el punto de vista del cliente final, un producto uniforme es mejor, y la segunda es que la variabilidad de una actividad, especialmente en el tiempo de duración, aumenta el volumen de las actividades que no generan valor, ya que es muy posible que el atraso de las actividades genere interferencias y reprocesos.

La planificación de las actividades y el control de las mismas permiten reducir la variabilidad en los procesos de construcción, variabilidad que es aceptada en el modelo de producción convencional.

- Reducción del tiempo de ciclo. El flujo de la producción puede ser caracterizado por el tiempo de ciclo, el cual es el tiempo requerido por un elemento para recorrer todo el flujo de la producción. El tiempo de ciclo es el tiempo de conversión, más el tiempo de inspección, más el tiempo de espera y más el tiempo de movimiento o transporte. En el nuevo sistema de producción la reducción del tiempo de ciclo se logra mediante la eliminación o minimización de las actividades que no generan valor.

La eliminación y minimización de actividades que no generan valor permite obtener los siguientes beneficios:

- Entrega más rápida al cliente final.
- Reducción de los pronósticos sobre la demanda futura.
- Disminución de interrupciones del proceso de producción.
- Se facilita la gestión, debido a la disminución de inconvenientes o imprevistos.
- Disminución de costos asociados con los flujos.

# B. Anexo : Proyecto Servicio De Mantenimiento, Adecuación y Ampliación del Archivo Central de La Base Naval A.R.C Bolívar

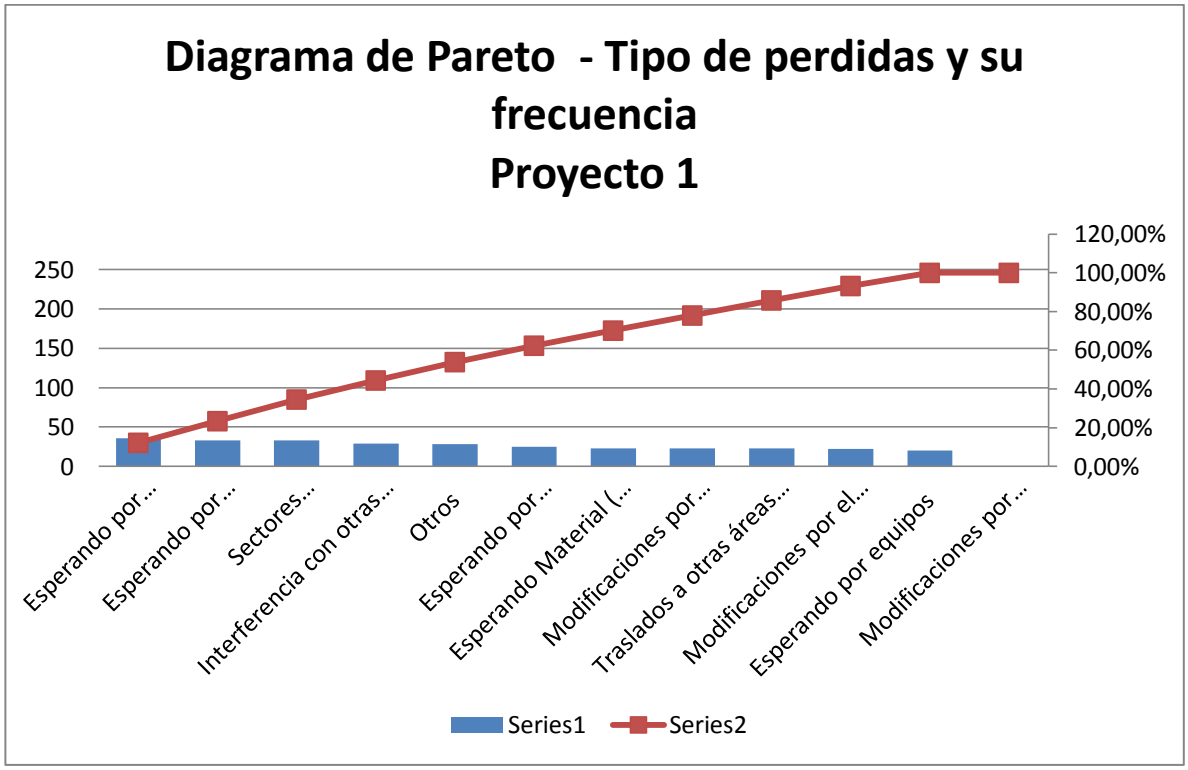
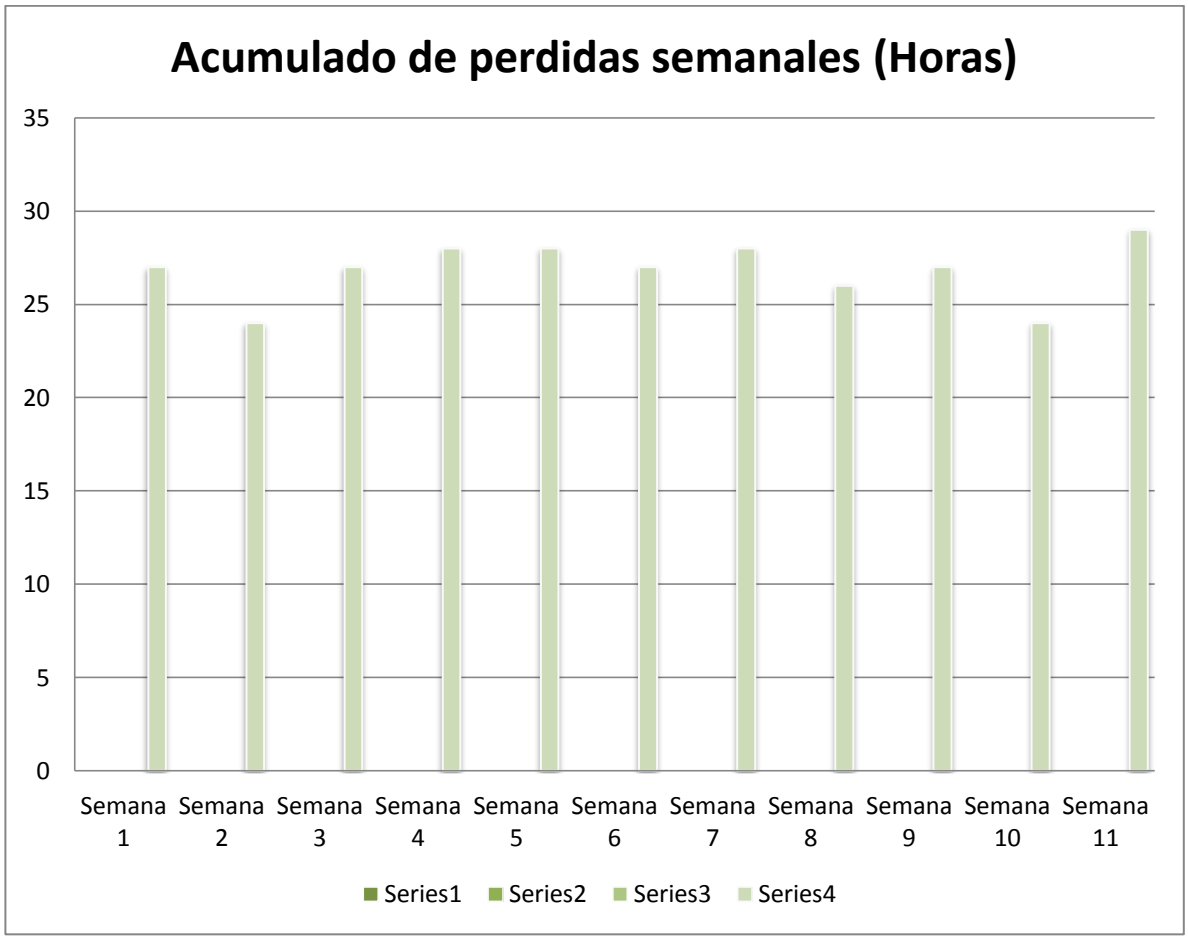


Diagrama de Pareto - Tipo de perdidas y su frecuencia
Proyecto 1
250
200
150
100
50
0
120,00%
100,00%
80,00%
60,00%
40,00%
20,00%
0,00%
Esperando por...
Esperando por...
Sectores...
Interferencia con otras...
Otros
Esperando por...
Esperando Material (...
Modificaciones por...
Traslados a otras áreas...
Modificaciones por el...
Esperando por equipos
Modificaciones por...
Series1
Series2


Acumulado de perdidas semanales (Horas)
35
30
25
20
15
10
5
0
Semana 1
Semana 2
Semana 3
Semana 4
Semana 5
Semana 6
Semana 7
Semana 8
Semana 9
Semana 10
Semana 11
Series1
Series2
Series3
Series4

# C. Anexo: Remodelación del Centro Zonal ICBF

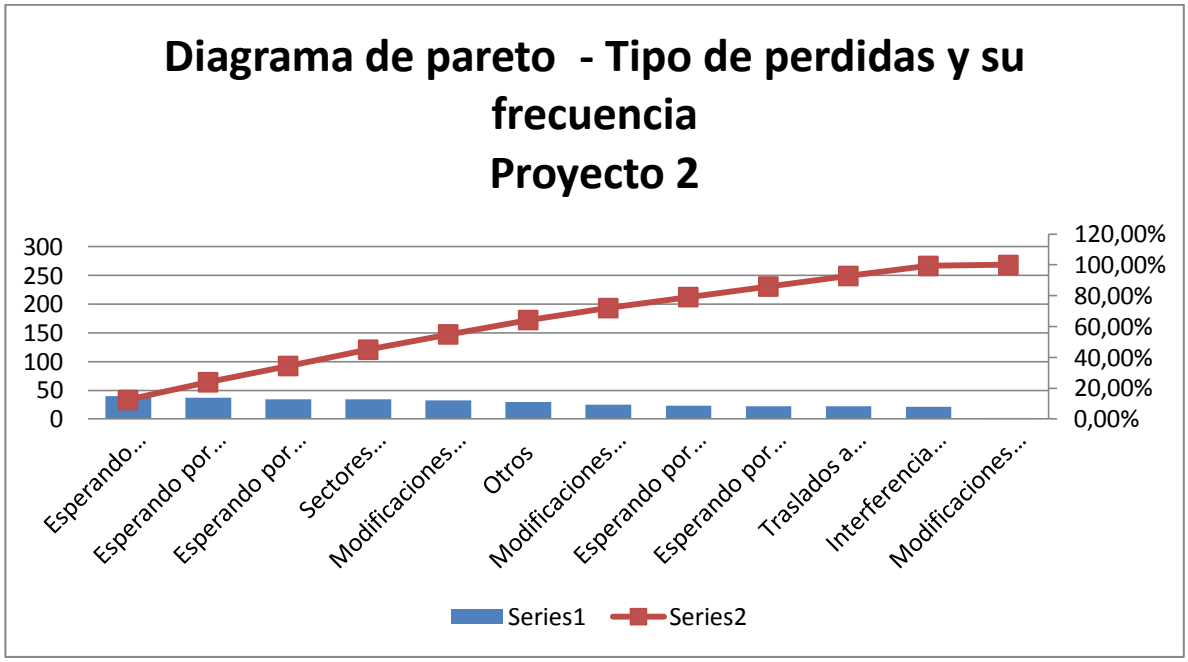
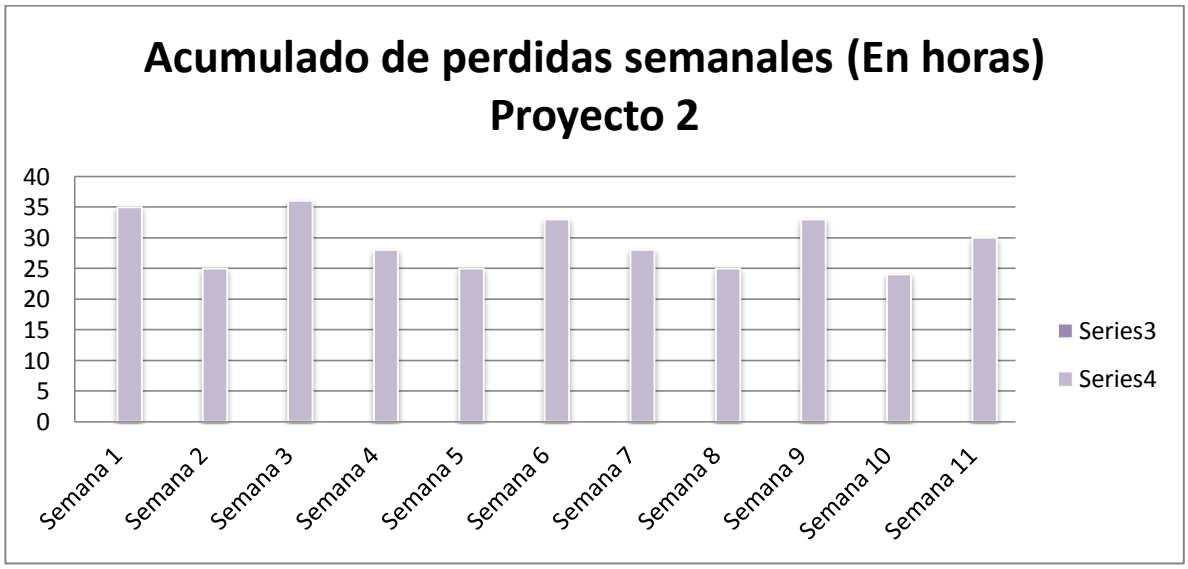
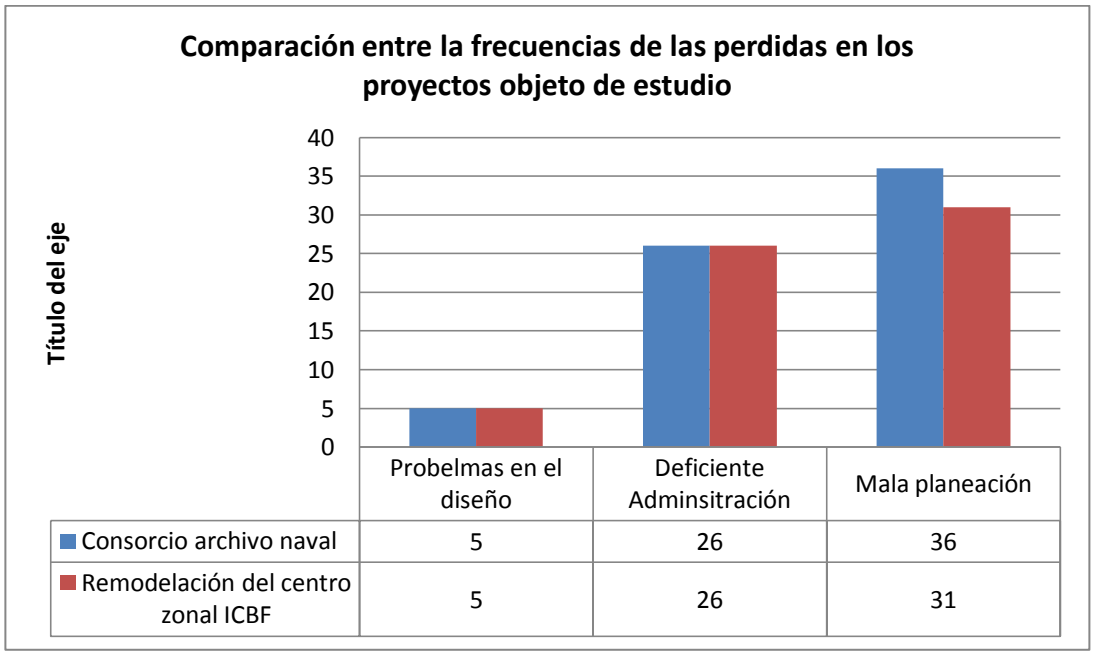


Diagrama de pareto - Tipo de perdidas y su frecuencia
Proyecto 2
300
250
200
150
100
50
0
120,00%
100,00%
80,00%
60,00%
40,00%
20,00%
0,00%
Esperando...
Esperando por...
Esperando por...
Sectores...
Modificaciones...
Otros
Modificaciones...
Esperando por...
Esperando por...
Traslados a...
Interferencia...
Modificaciones...
Series1
Series2


Acumulado de perdidas semanales (En horas)
Proyecto 2
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Semana 1
Semana 2
Semana 3
Semana 4
Semana 5
Semana 6
Semana 7
Semana 8
Semana 9
Semana 10
Semana 11
Series3
Series4

# D. Anexo: Triangulación de la Información




| | Probelmas en el diseño | Deficiente Adminsitración | Mala planeación |
|---|---|---|---|
| Consorcio archivo naval | 5 | 26 | 36 |
| Remodelación del centro zonal ICBF | 5 | 26 | 31 |

# BIBLIOGRAFIA

ALARCÓN, Luis F. and CALDERÓN, Rodrigo. A production planning support system for construction projects. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).

ALARCÓN, Luis F. and DIETHELM, Sven. Organizing to introduce lean practices in construction companies. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2001).

ALARCÓN, Luis F. and SEGUEL, Loreto. Developing incentive strategies for implementation of lean construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2002).

ALARCÓN, Luis F.; DIETHELM, Sven and ROJO, Óscar. Collaborative implementation of lean planning systems in chilean construction companies. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2002).

ALARCÓN, Luis F.; DIETHELM, Sven; ROJO, Óscar and CALDERÓN, Rodrigo. Assessing the impacts of lean construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2005).

ALMEIDA, Joao and SALAZAR, Guillermo. Strategic issues in lean construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).

ARBULU, Roberto and ZABELLE, Todd. Implementing lean in construction: how to succeed. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2006).

BALLARD, Glenn and HOWELL, Grez. An update on last planner. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).

BALLARD, Glenn. The last planner system of production control. A thesis submitted to the faculty of Engineering of the University of Birmingham. School of Civil Engineering. The University of Birmingham (2000).

BERNARDES, Mauricio y FORMOSO, Carlos. Contributions to the evaluation of production planning and control systems in building companies. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2002).

BORTOLAZZA, Rodrigo and FORMOSO, Carlos. A quantitative analysis of data collected from the last planner system in Brazil. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2006).

BORTOLAZZA, Rodrigo; COSTA, Dayana and FORMOSO, Carlos. A quantitative analysis of the implementation of the last planner system in Brazil. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2005).

BOTERO, Luis Fernando y ÁLVAREZ, Martha. Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda. En: Revista Universidad Eafit, Nº 136 (2004). p. 50-64. 97

BOTERO, Luis Fernando. Construcción sin pérdidas. 2 ed. Bogotá, D.C.: Legis, 2006.

Camacol (2007). Informe de Productividad en la industria de la construcción. Bogotá
CHITLA, Vijay and ABDELHAMID, Tariq. Comparing process improvement initiatives based on percent plan complete and labor utilization factors. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).

CHOO, Hyun and TOMMELEIN, Iris. Requirements and barriers to adoption of last planner computer tools. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2001).

CIAMPA, Dan. The CEO´s role in time – based competition. In: Blackburn, J.D. Business One Irwin, Homewood, IL. (1991). p. 273-293.

CONTE, Antonio. Lean construction: from theory to practice. Annual Conference of the International Group for Lean Construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2002).

DIEKMANN, J.; BALONICK, Josh; KREWEDL, Mark and TROENDLE, Lou. Measuring lean conformance. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).

ERCILIA, Hiruta and FORMOSO, Carlos. Barrier to magement innovations. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2001).

FIALLO, Mario and REVELO, Víctor. Applying the last planner control system to a construction project: a case study in Quito, Ecuador. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2002).

FORBES, L.H.; AHMED, S.M. and BARCALA, M. Adapting lean construction theory for practical application in developing countries. 2000.

HOWELL, G. What is lean construction. In: http://www.ce.berkeley.edu/tommelein/IGLC-7/PDF/Howell.pdf (26 Julio 1999).

HUBER, Bob and REISER, Paul. The marriage of CPM and lean construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).

Norma ISO 9001- 2008. Estándares para la implementación de un sistema de gestión de la calidad. Legis

JOHANSEN, Eric and PORTER, Geoff. An experience of introducing last planner into a UK construction project. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).

JORGENSEN, Bo; EMMITT, Stephen and BALLARD, Glenn. Divergent focus in the application of lean ideas: examples from Denmark and California. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2005).

KAGIOGLOU, Michail; LEE, Angela; COOPER, Rachel; CARMICHAEL, Stuart and AOUAD, Ghassan. Mapping the production process: a case study. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2002).

KOSKELA, L. and HOWELL, Greg. Reforming project management: the role of planning, execution and controlling. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2001).

KOSKELA, L. Application of the new production philosophy to construction. In: Technical Report, Nº 72. Center for Integrated Facility Engineering, Department of Civil Engineer. Stanford University, 1992. 98

KOSKELA, L.; BALLARD, Glenn and HOWELL, Greg. Achieving change in construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).

MAROSSZEKY, Marton; THOMAS, R.; KARIM, Khalid; DAVIS, S. and McGEORGE, D. Quality management tools for lean production – moving from enforcement to empowerment. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2002).

MOHAN, Satish and IYER, Sumathi. Effectiveness of lean principles in construction. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2005).

Nonaka & Takeuchi (1995) The Knowledge Creating Company. New York, Oxford University Press

Norma ISO 9001- 2008. Sistemas de Gestión de la calidad

SERPELL, A. Administración de operaciones de construcción. México, D.F.: Alfaomega Grupo Editor, 2002.

SOARES, Alexandre; BERNARDES, Mauricio and FORMOSO, Carlos. Improving the production planning and control system in a building company: contributions alter stabilization. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2002).

SRIPRASERT, Eknarin and DAWOOD, Nashwan. Next generation of construction planning and control system: the lewis approach. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2002).

THOMASEN, Mikkel; SANDER, Dag; BARNES, Kristine and NIELSEN, Anni. Experience and results from implementing lean construction in a large danish contracting firm. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2003).

TORRES, C.; ISATTO, E. and HOTOMI, E. Method for waste control in the building industry. In: http://www.ce.berkeley.edu/tommelein/IGLC/PDF/Formoso&Isatto&Hirota.pdf (26 Julio 1999).

VILLAROUCO, Vilma and FITTIPALDI, Andrea. A better plan for construction companies. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2006).

WOO KIM, Yong and JANG, Jin Woo. Case study: an application of last planner to heavy civil construction in Korea. In: Annual Conference of the International Group for Lean Construction (2005).