

“LEAN CONSTRUCTION” APLICADA A PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA UNIFAMILIAR

GERMÁN ORLANDO CORREDOR AGUILERA
ANA LEONOR ROJANO VERGARA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2009

**“LEAN CONSTRUCTION” APLICADA A PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA UNIFAMILIAR**

**GERMÁN ORLANDO CORREDOR AGUILERA
ANA LEONOR ROJANO VERGARA**

**Monografía para optar el título de Especialista en Gerencia e Interventoría
de de Obras Civiles**

ASESOR:

Aldemar Remolina M.
Ingeniero Civil MSC

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2009

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, 21 de Agosto de 2009

AGRADECIMIENTOS

Damos nuestros agradecimientos a los integrantes de la familia Fenix Construcciones S.A. por su valioso apoyo en la elaboración de este proyecto.

Al cuerpo administrativo y de docentes de la Especialización en Gerencia e Interventoría de Obras Civiles por transmitirnos sus valiosos conocimientos y experiencias profesionales.

Al ingeniero Aldemar Remolina Millán por su apoyo y motivación como director de esta monografía.

TABLA DE CONTENIDO

Listado de figuras	vii
Listado de Tablas	viii
Resumen General Del Trabajo De Grado	ix
Abstract	xi
Introducción	1
1. Objetivos	2
1.1 Objetivo General	2
1.2 Objetivos Específicos	2
2. Estado del arte.	3
2.1 Marco Conceptual	3
2.2 Marco Histórico	4
3. Enfoque del Proyecto Y Alcance	7
3.1 Situación Actual en Bucaramanga	7
3.2 Definición del Tipo de Obra Objeto de Análisis	8
4. Identificación de Procesos Constructivos a Analizar	9
4.1 Caracterización de la Situación según lo observado en la obra objeto de Análisis.	11
4.2 Variación del Porcentaje de Incidencia de las actividades constructivas en el costo del proyecto a causa del incremento en el consumo de materiales	24
5. Análisis causa – Efecto de Actividades	25
5.1 Análisis causa – efecto general de altos desperdicios de materiales.	25
5.2 Diagrama Causa – efecto para el mejoramiento de la productividad en la obra.	27
6. Aplicación de técnicas “Lean” en actividades de Construcción	29
6.1 Reducción de las actividades que no generan valor agregado	29
6.2 Incremento del valor del producto	30

6.3	Reducción de la variabilidad	30
6.4	Reducción del Tiempo de ciclo	30
6.5	Simplificación de Procesos	31
6.6	Incremento de la flexibilidad de la producción	31
6.7	Transparencia del proceso	31
6.8	Enfoque del control al proceso completo	31
6.9	Mejoramiento continuo del proceso	32
6.10	Balance del mejoramiento de Flujo con mejoramiento de Conversión	32
6.11	Referenciación (Benchmarking)	32
6.12	Último Planificador (Last Planner)	32
	Conclusiones y Recomendaciones	35
	Bibliografía	37
	Referencias Bibliográficas	38

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 1: Desperdicio De Concretos Para Vigas Aéreas	13
Figura 2: Desperdicio De Concretos Para Placa De Contra Piso	14
Figura 3: Desperdicio de concreto para placa de entrepiso	15
No se encuentran elementos de tabla de ilustraciones. Figura 4: Desperdicio de concreto para cimentación	15
Figura 5: Desperdicio de concreto para columnas del Primer Piso	16
Figura 6: Desperdicio de concreto para columnas del segundo Piso	16
Figura 7: desperdicio de concreto para escaleras	17
Figura 8: desperdicio de concreto para construcción de Altillo	17
Figura 9: Desperdicio mensual de bloque H10 por actividad constructiva	19
Figura 10: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Mortero de pega para mampostería	21
Figura 11: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Friso del primer Piso	22
Figura 12: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Friso del segundo Piso	22
Figura 13: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Friso de fachada principal	23
Figura 14: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Friso de fachada posterior	23
Figura 15: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Frisos de Culata	23
Figura 16: Diagrama Causa – Efecto por Altos Desperdicios de Materiales.	26
Figura 17: Diagrama Causa – Efecto para Mejorar la productividad en las actividades de la Construcción.	28

LISTA DE TABLAS

	PAGINA
Tabla 1: Porcentaje De Incidencia Por Actividad Dentro Del Costo Total De Proyecto	10
Tabla 2: Desperdicio Mensual De Concreto Según Ubicación	13
Tabla 3: Consolidado De Porcentaje De Desperdicios De Bloques H10 De Enero A Junio De 2009	19
Tabla 4: Consolidado De Desperdicios De Cemento En Los Meses De Enero A Junio De 2009	21
Tabla 5: Variación en el presupuesto de inversión por desperdicios en las actividades constructivas	24
Tabla 6: Aplicación De Principios LEAN A Las Actividades De Concretos Y Mampostería	34

RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

TITULO: “LEAN CONSTRUCTION” APLICADA A PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA UNIFAMILIAR

AUTORES: GERMÁN ORLANDO CORREDOR AGUILERA
ANA LEONOR ROJANO VERGARA.

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: ALDEMAR REMOLINA M.

RESUMEN

Teniendo en cuenta que el sector de la construcción constituye una de las fuentes más importantes de la dinámica económica a nivel nacional, es necesario fortalecer y mejorar las técnicas gerenciales en los proyectos de obras civiles con el fin de optimizar los recursos vinculados a ellos y a su vez, mejorar la productividad de la empresa y el sector.

Alentados por este objetivo, se decidió estudiar un caso específico de un proyecto de construcción de vivienda unifamiliar en el área Metropolitana de Bucaramanga, con el que se pretende identificar algunos de los aspectos que afectan la productividad del proyecto en ciertas actividades constructivas.

Para tal fin, se escogió como objeto de estudio el proyecto de vivienda unifamiliar “La Toscana” ejecutado por la constructora FÉNIX CONSTRUCCIONES S.A. en jurisdicción del municipio de Floridablanca, Santander, el cual consta de 136 casas construidas mediante sistema tipo pórtico (Vigas y Columnas).

En ésta obra, se realizó un análisis de los desperdicios presentados en las actividades constructivas, que por su porcentaje de incidencia dentro del presupuesto general, se consideraran representativas.

Seguidamente, se recopilaron datos de consumo de materiales -tomados directamente por personal de la empresa en el proyecto- se tabularon y analizaron para determinar los índices de porcentajes de desperdicio en cada una de ellas. Esto con el fin de identificar los factores que inciden en el incremento de los desperdicios de materiales.

Posteriormente, se realizó un análisis “Causa – Efecto” de malas prácticas durante la ejecución de las actividades constructivas analizadas y se plantearon los posibles aspectos que incidieron en la presentación de altos desperdicios en el proyecto.

Así mismo, se plantea un diagrama en el que se mencionan las buenas prácticas asociadas a cada uno de los componentes de las actividades de construcción que deberían implementarse para incrementar la productividad en las obras.

Para finalizar, se mencionan los principios de la filosofía “Lean Construction” aplicables al sector de la construcción como herramienta para el mejoramiento y optimización de sus procesos.

PALABRAS CLAVES: “Lean Construction”, desperdicios, Productividad, Último Planificador, Construcción sin Pérdidas.

ABSTRACT

Considering, the fact that the field of construction constitutes one of the most important sources of economic dynamics at national level, it is necessary to fortify and to improve the managemental techniques in the civil work projects, with the purpose of optimizing the resources that conforms them, and to improve the productivity of the company and the sector.

Encouraged by this objective, it was decided to study a specific case of a project of construction of single-family complex, in the Metropolitan area of Bucaramanga, in order to identify some of the aspects that affect the productivity in some of the constructive activities.

For such aim, it was chosen the project of single-family complex "*La Toscana*" being developed by the building company "*FÉNIX CONSTRUCCIONES S.A*", which is located within the jurisdictional area of Floridablanca, Santander. The project is comprised of 136 single-family houses built under the traditional system of beams and columns.

As part of the project, a waste analysis was done on the construction activities that due to the percentage of incidence on the general budget, were considered representative.

Furthermore, materials consumption data were collected - taken directly from the companies' staff. - Data were tabulated and analyzed in order to determine the individual level of waste by percentage. The objective of this was to identify the factors that increase waste of construction materials.

Moreover, a "cause-effect" analysis was done on malpractice activities during construction. Several aspects were proposed that might have increased waste of construction materials.

Additionally, a diagram that relates good practices and each of the construction activity components was presented to augment productivity during construction.

Finally, philosophical concepts applicable to construction from "Read Construction" are mentioned and geared towards improving and optimizing processes.

Key Words: Waste, Productivity, Last Planner, Lean Construction.

INTRODUCCIÓN

Dentro de la economía colombiana el sector de la construcción es uno de los que genera mayor dinamismo por lo que se constituye como uno de los renglones más importantes del Producto Interno Bruto del país. Sin embargo, de manera paradójica, es uno de los sectores con menor grado de desarrollo en el país, que ha venido manteniendo las técnicas constructivas tradicionales, lo cual se constituye en una desventaja en la medida de que no se propongan metodologías alternas de ejecución de proyectos encaminadas a mejorar la productividad de las organizaciones.

Es por esta razón que se ha venido trabajando en la implementación de estrategias que permitan mejorar la planificación y ejecución de las obras desde el momento de concepción y diseño hasta la culminación de las mismas.

En el presente documento, se tomó y analizó el caso de un proyecto de vivienda unifamiliar en el que se detectaron algunas causas que generan altos consumos de materiales y se plantearon técnicas inspiradas en los principios de la filosofía “Lean Construction” para disminuir y/o eliminar dichos factores.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo General

- Desarrollar un documento de recomendaciones para el mejoramiento de las actividades de construcción mediante la Identificación de las pérdidas de recursos de materiales en proyectos de obra civil tipo vivienda unifamiliar con sistema constructivo tradicional.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis causa / efecto de los fenómenos de desperdicios con el fin de encontrar las causas más probables de los mismos en las actividades de frisos, mampostería y Concretos en un proyecto de Vivienda Unifamiliar con sistema constructivo tipo pórtico en la ciudad de Floridablanca.
- Aplicar las técnicas y estrategias de “Lean Construction” en los problemas más comunes asociados a altos desperdicios de recursos en los procesos de de frisos, mampostería y Concretos, en proyectos de vivienda unifamiliar por medio de planteamiento de soluciones probables.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1 Marco Conceptual

A continuación se definirán algunos términos que sirven de base para enfocar al lector de este documento o que son empleados repetitivamente durante el desarrollo del presente trabajo. Los términos son:

- **Construcciones Verdes**

Son aquellas estructuras, ya sean residenciales, comerciales o industriales, que estén diseñadas, construidas, renovadas o en funcionamiento, y que busquen: reducir al mínimo el impacto en el medio ambiente, proteger la salud de sus habitantes y utilizar los recursos eficientemente.

Dentro de las ventajas de desarrollar proyectos de éste tipo se tienen que: se ahorra en materiales, en la medida que se recicle o se vuelvan a usar materiales ya existentes; ahorros en energía debido a que tanto en el diseño como en la construcción se incorporan sistemas más eficientes que demandan menos energía; y ahorros en el consumo de agua, debido a que se emplean sistemas que economizan y optimizan dicho recurso. Además de lo mencionado anteriormente, en proyectos de éste tipo, el paisajismo se diseña para incorporar plantas típicas de la zona, por lo que se encuentran adaptadas a las condiciones climáticas y geográficas, y que por lo tanto, requieren menos agua y mantenimiento.

- **Construcción Sin Perdidas (“Lean Construction”)**

Metodología de producción originada en el Japón a mediados del siglo XX aplicada inicialmente a la producción industrializada del Sistema TOYOTA. Dentro de sus principios básicos se cuentan la minimización o eliminación de todas aquellas fuentes que conduzcan a generar pérdidas, justificándose en el hecho de que éstas generan menor productividad, menor calidad del producto final y mayores costos. En el año 1992 el académico finlandés Laury Koskela, a través de un exhaustivo análisis propone la aplicación de dichos principios a los proyectos de obras civiles debido a la semejanza entre los procesos industriales y civiles en la fabricación de un producto final. A partir de ése momento, ésta metodología ha venido aplicándose a la construcción de obras civiles, conservando siempre los principios básicos anteriormente mencionados. [Rojas, 2004]

- **Impacto Ambiental**

Se entiende como Impacto Ambiental la alteración de las condiciones naturales del medio ambiente, debido a la acción del hombre o a eventos propios de la naturaleza, causado variaciones sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos.

En el campo de la Construcción de obras civiles, el impacto ambiental está causado en su mayoría tanto por los procesos constructivos propios de la obra, como por aquellos generados desde la fabricación, explotación, procesamiento y transporte de los recursos hasta la puesta en marcha y operación del producto (obra) terminado, es decir, durante el ciclo de vida del proyecto.

- **Sostenibilidad O Sustentabilidad**

Este concepto hace referencia al equilibrio que ha de mantenerse entre una especie determinada y los recursos que la rodean. Aplicado a la construcción de Obras civiles, se dice que un proyecto es auto sostenible cuando se aprovechan los recursos del entorno causando el menor impacto ambiental durante la construcción, puesta en marcha y funcionamiento del proyecto.

- **Pérdidas**

Son todos aquellos procesos que demandan cantidades mayores a los recursos mínimos de materiales, maquinaria, mano de obra, tiempo y espacio establecidos para la producción de un bien o servicio y que por tanto, sin agregar valor al producto final, generan costos mayores en el proceso de fabricación o construcción del mismo.

En el campo de la construcción de obras se evidencian dos tipos de pérdidas: Perdida Inevitable y Pérdida Evitable. La primera, es aquella en la que la inversión para prevenirla o corregirla es mayor que el ahorro que se produce si no se presentara, mientras que la segunda es aquella en la que el costo del desperdicio supera el costo de las medidas preventivas.

2.2 Marco histórico:

Tradicionalmente, la industria de la construcción ha presentado muy pocas variaciones en cuanto a los procesos en la fase de diseño y construcción de los proyectos. Sin embargo, se han presentado nuevas corrientes orientadas a optimizar dichos procesos buscando la optimización de recursos, costos y tiempos teniendo como base conceptual la teoría de producción "LEAN".¹

Por muchos años la industria manufacturera, ha sido tomada como modelo para la realización de innovaciones en la industria de la construcción, debido a que ambos sectores presentan la posibilidad de estandarizar sus procesos. Por

¹ El Término "LEAN" se usará como abreviatura para referirse a la teoría de LEAN CONSTRUCTION

ejemplo, los Sistemas integrados de construcción y la automatización, tienen su origen en otras industrias y su aplicación se encuentra muy desarrollada si se compara con la construcción.

La baja productividad, el resultado de calidad, las pobres condiciones de trabajo y también los problemas de seguridad industrial, han sido características comunes a la mayoría de los proyectos de construcción.

Como respuesta a lo mencionado anteriormente, se vio la necesidad de desarrollar una tendencia basada en los sistemas productivos de la industria manufacturera aplicada a los principios establecidos en la construcción. Entonces, desde este punto de vista el proceso de la construcción se percibe como un flujo de materiales e información hacia el producto final. De esta manera los materiales sufren procesos, en los cuales son inspeccionados, expuestos a posibles tiempos de espera y transportados. La cadena de transformación del producto esta representada por los procesos constructivos, y las inspecciones, esperas y transportes representan los flujos dentro de la misma.

Dentro del proceso constructivo, se denomina conversión a toda transformación de recursos e información en un producto requerido por el cliente, siendo éstas las actividades que agregan valor al proceso de la construcción, y por el contrario, reciben el nombre de pérdidas todas aquellas acciones que aunque consumen recursos de cualquier tipo no generan valor agregado al producto final, lo cual incrementa los costos totales del proyecto. Es por ello que se busca como objetivo, incrementar la eficiencia de las actividades de transformación y disminuir o eliminar por completo las pérdidas.

Como pionero de la filosofía Lean Construction a nivel mundial se ha destacado el académico finlandés Lauri Koskela quien en 1992 visualizó la posibilidad de aplicar los principios de la teoría "Lean" propios de la industria manufacturera en la construcción de obras civiles agregando mediciones de desempeño como indicadores de pérdidas, valor, tiempo de ciclo y variabilidad. [Botero, 2009]

El aporte académico del profesor Koskela, muestra diversos estudios orientados a valorar el porcentaje que representan las pérdidas dentro del costo total de los proyectos de construcción,

Más adelante, en 1998 fue fundado el World Green Building Council (WGBC) para coordinar y agrupar a los organismos que en cada país lideran la transformación de la industria de la construcción hacia la sostenibilidad. Mediante esta entidad, se han aunado los esfuerzos y canalizado información valiosa que se ha tenido en cuenta para crear herramientas de mejoramiento de los procesos en proyectos de construcción con la finalidad de evaluar los resultados y realizar la respectiva retroalimentación. Sin embargo, los casos exitosos solo han servido como referente, puesto que los resultados están asociados directamente a factores específicos como tipo de procesos constructivos, tipos de materiales, ubicación geográfica, la idiosincrasia de los trabajadores, políticas empresariales, el nivel socioeconómico de la región, entre otras.

Dentro del marco nacional, en Colombia apenas comienzan a implementarse algunos proyectos basados en la filosofía LEAN, dentro de los cuales se tienen: La planta de la empresa Alpina, en Sopó; el Bioparque La Reserva, en Cota, la nueva oficina de la Agencia Nacional de Hidrocarburos y la tienda de Falabella Hayuelos, en Bogotá. [Periódico “El Tiempo”, 2009]

Dentro de los proyectos insignia de la Filosofía Lean Construction en el país, están el de la Cámara de Comercio de Bogotá y El Colegio San José en Barranquilla. En ellos, se implementaron los principios básicos de “Lean Construction” desde la fase de diseño inicial hasta la construcción y operación del proyecto.

Por ejemplo, en la obra adelantada por la Cámara de Comercio de Bogotá, se implementaron técnicas de ahorro de agua, a través de reutilización del agua para el lavado de los vehículos que entran y salen de la construcción y el mantenimiento de las vías de acceso al sitio. Así mismo, el agua proveniente de los estanques y lavamanos es sometida a un proceso de tratamiento y es reutilizada. El lote que cuenta con cuatro accesos fue rodeado por un cerramiento transparente que permite a los vecinos y transeúntes del lugar observar el avance de la obra. Así mismo, se ha establecido un control en la entrada y salida de vehículos con materiales. Los carros son lavados y cubiertos antes de abandonar el lugar para minimizar el impacto en los alrededores de la obra. Además, ningún vehículo puede parquear o descargar materiales afuera del perímetro destinado para la construcción. Por lo que se implementó, por primera vez en Colombia, un sistema a través de un brazo que coloca el concreto en el sitio que se requiera. [Magazín “Metro Cuadrado.Com”, 2003].

Adicionalmente se tiene presupuestado continuar con la línea de preservación del medio ambiente y aprovechamiento de los recursos naturales cuando la edificación entre en funcionamiento, para lo cual contará con una fachada transparente que busca mantener la temperatura y la luminosidad al interior de la estructura. Así mismo, se contará con un sistema de ventilación que tomará el aire del exterior, lo filtrará a través de un flujo de agua y lo refrigerará, luego éste será enviado al interior del edificio cuando presente exceso de calor, con esto la reducción energética será de cerca del 60 por ciento. [Magazín “Metro Cuadrado.Com”, 2003].

Por otro lado, en El Colegio San José en Barranquilla, con su nueva sede busca usar eficientemente los espacios, producir energía a partir de recursos renovables como la energía solar y manejar el agua y las basuras responsablemente. [www.colsanjose.edu.co, 2008]

En ese sentido, Colombia da sus primeros pasos con la creación del CCCS (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible), pero se hace necesario el fortalecimiento de este organismo mediante la participación de las instituciones educativas en el desarrollo de investigaciones, así como de los entes gubernamentales con la emisión de incentivos y legislación que involucre al sector privado en el diseño y construcción de proyectos verdes basados en los fundamentos de “Lean Construction”.

3. ENFOQUE DEL PROYECTO Y ALCANCE

El sector de la construcción es uno de los renglones económicos que presenta mayor dinamismo no solo a nivel nacional sino a nivel mundial, por lo que demanda gran cantidad de recursos y por ello genera altos porcentajes de residuos principalmente, debido a los métodos constructivos empleados en los procesos. Según información publicada por el “World Green Building Council”, entidad que se encarga de coordinar y agrupar los organismos que en cada país lideran la transformación de la industria de la construcción hacia la sostenibilidad, las cifras de porcentajes de recursos demandados en el sector de la construcción ascienden aproximadamente al 32% de los recursos de materiales, el 12% del agua potable mundial y el 72% de la electricidad. Así mismo, el sector de la construcción produce en el mundo el 40% de los desechos sólidos que llegan a un relleno sanitario, el 38% de las emisiones de dióxido de carbono y el 36% de los gases de efecto invernadero. [Consejo de Construcción Verde de España, 2008].

Como se puede ver, estos índices, demuestran un alto consumo de recursos y generación de desechos, es por ello, que los miembros de este sector productivo han venido interesándose cada vez mas en el mejoramiento de los procesos constructivos como herramienta para optimizar el consumo de recursos, la generación de desechos y la minimización de pérdidas, lo cual se ve traducido no solo en beneficios económicos sino también ambientales.

En el desarrollo del presente trabajo de grado se realiza la revisión de los datos de desperdicio de ciertas actividades, recopilados por la constructora durante los seis meses iniciales del proyecto de vivienda unifamiliar “La Toscana”, a partir de los cuales se identifican los factores que influyen en el incremento de los desperdicios de dichas actividades, haciendo uso de diagramas causa – efecto. Así mismo, se plantean técnicas y estrategias encaminadas a reducir el desperdicio de recursos, como alternativas para desarrollar estas actividades.

3.1 Situación Actual En Bucaramanga.

El área Metropolitana de Bucaramanga está compuesta por la Ciudad de Bucaramanga (Capital del Departamento), Piedecuesta, Girón Y Floridablanca. El desarrollo de los proyectos de viviendas está sujeto a lo definido en los correspondientes planes de ordenamiento territorial. Debido a que el área metropolitana está ubicada en una meseta, la expansión urbanística se ve limitada, por lo que el desarrollo de proyectos de vivienda compuestos por casas y amplias áreas verdes, están en decrecimiento y se ven favorecidos los proyectos de edificaciones verticales propiciando la renovación urbanística en zonas céntricas y tradicionales de la ciudad.

En cuanto a sistemas constructivos se refiere, en el área metropolitana se emplean generalmente cuatro sistemas constructivos, contemplados en la Norma Sismo Resistente de 1998: [NSR, 1998].

- **Sistema de muros de carga:** Es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por los muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales. Es usado tradicionalmente en edificaciones entre 12 y 20 metros de altura indistintamente de la zona en la que se desarrolle la construcción.
- **Sistema combinado:** Es un sistema estructural en el cual: (a) las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o (b) las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual. Es usado en edificaciones de altura mayor a 12 metros.
- **Sistema de pórtico** Es un sistema estructural compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales. Usualmente es empleado para edificaciones de uno o más pisos. Es el más común de los sistemas constructivos.
- **Sistema dual:** Es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. Tradicionalmente es empleado para edificaciones de más de 15 metros.

3.2 Definición Del Tipo De Obra Objeto De Análisis

- **Descripción del Proyecto a Analizar:** El proyecto se desarrolla en un predio ubicado en el costado noroccidental del Municipio de Floridablanca, sobre el Anillo vial. Consta de 136 casas estrato seis (6) con áreas entre los 100 y 150 m². El Sistema Constructivo empleado es tipo pórtico de dos niveles. Se deja abierta la posibilidad de construcción de un tercer nivel (altillo) en caso de que el cliente así lo requiera. La mampostería está compuesta por bloque de arcilla cocida H10 y reforzada con una malla electrosoldada de 6mm. La estructura de la cubierta está fabricada en madera y el acabado se realiza en teja de barro cocido tipo “española”.²

² La teja tipo “Española” está fabricada a partir de barro cocido con presentación ondulada de color naranja vivo. Este tipo de teja es altamente comercializada en la zona del proyecto.

4. IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS A ANALIZAR

Con el fin de conocer los fenómenos de desperdicios más representativos en la obra, se estudiarán aquellas actividades que debido a su valor dentro del presupuesto total, hace meritorio su análisis, ya que los sobre consumos que en ellas se den, pueden representar un descalabro económico en la organización dueña del proyecto.

Para tal fin, se estimaron porcentajes de incidencia de cada una de las actividades del presupuesto de la obra, obteniéndose los siguientes resultados:

- a. **Cimentación de viviendas:** Representa un porcentaje de incidencia del 7,24% dentro del presupuesto total de la obra.
- b. **Estructura en concreto reforzado:** Representa un porcentaje de incidencia del 12,39% dentro del presupuesto total de la obra.
- c. **Mampostería:** Representa un porcentaje de incidencia del 5,28% dentro del presupuesto total de la obra.
- d. **Pañete:** Representa un porcentaje de incidencia del 4,25% dentro del presupuesto total de la obra.

Sumados los porcentajes de incidencia de las actividades arriba mencionadas, se tiene un porcentaje total de **29,16%** del costo total del proyecto.

En la Tabla 1 se encuentran especificadas todas las actividades de construcción previstas para la ejecución del proyecto “La Toscana” y se muestra el porcentaje de incidencia de cada una de ellas sobre el presupuesto total de la obra.

CAPITULO	% DE INCIDENCIA SOBRE COSTO TOTAL PROYECTO
LOTE	13,68%
URBANISMO LOTE	15,52%
PRELIMINARES	0,26%
CIMENTACION	7,24%
ESTRUCTURA	12,39%
MAMPOSTERIA	5,28%
CUBIERTA- CIELO RASO	1,65%
PAÑETE	4,25%
PISOS	1,81%
ENCHAPES Y ACCESORIOS	1,94%
INST. HIDRAULICA/SANITARIA	0,89%
INSTALACIONES ELECTRICAS	1,72%
INSTALACIONES ESPECIALES	0,41%
CARPINTERIA DE MADERA	1,35%
CARPINTERIA METALICA	1,84%
PINTURA	1,90%
CERRADURAS	0,31%
APARATOS SANITARIOS	0,95%
VIDRIOS Y ESPEJOS	0,09%
EQUIPOS ESPECIALES	0,43%
ASEO Y JARDINERIA	0,12%
GASTOS GENERALES DE OBRA	1,84%
IMPREVISTOS COSTO DIRECTO	1,23%
COSTOS INDIRECTOS	20,16%
ADMINISTRACIÓN	1,84%

Tabla 1. Porcentaje de incidencia por actividad dentro del costo total del proyecto.

Como se puede observar, las actividades de mayor incidencia dentro de los costos directos de la obra son: Cimentación, estructura, Mampostería y Pañetes, por lo tanto, serán a estas actividades a las que se dirigirá la atención durante el desarrollo del presente documento.

Cabe resaltar que estos porcentajes de peso o incidencia guardan una relación directa con las características propias del proyecto objeto del presente trabajo de grado y no son extensivas para otros proyectos de construcción.

Una vez se detectaron las actividades de mayor peso económico dentro del proyecto, se recopilaron datos de consumo de materiales dentro de las mismas.

Como requisito interno y desde el inicio de la obra, la empresa dueña del proyecto, ha establecido mecanismos de control o indicadores de desperdicio. Estos indicadores son tomados para las actividades de friso, mampostería, enchapes, estructuras en concreto y tuberías hidrosanitarias.

Por tanto, se hará el análisis de desperdicio para los casos de concreto para cimentación y estructura, bloques y mortero para mampostería y frisos. Los datos de las demás actividades no serán tenidos en cuenta debido a que sus porcentajes de incidencia dentro de los costos del proyecto no son muy altos.

A continuación se describen los subprocesos que tienen lugar en cada una de las actividades:

a. Cimentación: Comprende la realización de zapata, vigas de cimentación y pedestales en concreto reforzado para cada una de las unidades habitacionales.

b. Estructura en Concreto Reforzado: Abarca la construcción de columnas de primero y segundo piso, vigas aéreas, escaleras y viga cinta de cubierta para cada unidad.

c. Mampostería: Hace referencia a la construcción de los muros de primer, segundo y tercer nivel de las casas. Para esta actividad se utilizan bloques de arcilla cocida tipo H10 y mortero de pega 1:3. La arena empleada para la preparación del mortero es de tipo grueso proveniente de las bancas de Rio Chicamocha.

d. Pañete: Aplicación de mortero de relación 1:4 sobre la mampostería de bloque H10. Para la preparación del mortero se usa arena fina.

4.1 Caracterización de la situación según lo observado en la obra objeto de análisis.

Con el fin de analizar los fenómenos de desperdicios presentados en las actividades de Concreto para Cimentación y Estructura, Mampostería y pañetes en el proyecto La Toscana, se empleará el diagrama conocido como “**Causa – Efecto**”. Este tipo de diagrama tiene la ventaja de que a través de él es posible detectar las causas reales y potenciales que produjeron determinado evento. Además, permite vincular cada uno de los engranajes constituyentes de un proceso (ambiente de trabajo, mano de obra, equipo, etc.) con el efecto obtenido, razones por las cuales se consideró el uso de este diagrama en particular para llevar a cabo el análisis de los datos.

Teniendo en cuenta que los factores que inciden en los altos consumos de recursos de los procesos constructivos, son aplicables a todas las actividades propias de la obra, se realiza un análisis Causa – Efecto General, el cual se muestra en el Capítulo 5 del presente documento.

Una vez se definió el tipo de análisis a emplear, se recopilaron datos de consumos de materiales de las actividades constructivas a analizar, tomados por el director de la obra desde el inicio de la misma y se procesaron con el fin de estimar el porcentaje de desperdicio para cada una de las actividades en estudio. Dichos datos se adjuntan como anexos.

- **Tablas y figuras de Desperdicio de Cemento para cimentación y estructura de Enero a Junio de 2009.**

Los datos de desperdicios de concreto para cimentación y estructura de las viviendas de Enero a Junio de 2009 se encuentran como anexos del presente documento. Éstos se organizaron en tablas con las siguientes columnas:

- Fecha recibo: Corresponde a la fecha que figura en la remisión del concreto a la obra.
- Ubicación: Especifica el detalle del elemento estructural de la unidad residencial en donde se fundió el concreto. Ejemplo: Escalera, Placas, etc.
- Actividad: Clasificación del tipo de concreto, según las actividades definidas previamente como objeto de estudio. (Cimentación o Estructura).
- Módulo de Rotura: Hace referencia a la resistencia a la compresión del concreto solicitado, expresado en Libras por Pulgada Cuadrada (PSI).
- Cantidad: Es el volumen de metros cúbicos de concreto que se requirieron para fundir el elemento estructural especificado.
- Cantidad Estándar: Es el volumen de concreto que en teoría se requiere para fundir determinado elemento estructural, expresada en metros cúbicos.
- Diferencia: Diferencia entre la Cantidad real y la Cantidad Estándar, expresada en metros cúbicos.
- Porcentaje: Relación entre la Diferencia y la cantidad estándar, expresada en porcentaje.
- Porcentaje Promedio: Desperdicio promedio de concreto discriminado según la ubicación o disposición final del mismo.
- Porcentaje Promedio desperdicio de Concreto: Representa el porcentaje promedio mensual de desperdicio de concreto sin tener en cuenta su ubicación.

Seguidamente, se graficaron los datos promedio mensual de desperdicio de concretos según la ubicación del mismo, con el fin de observar la variabilidad del desperdicio asociada al lugar donde se funde el concreto. Los datos se consolidaron en la tabla 2:

DESPERDICIO DE CONCRETO (%)							
PLACA DE CONTRAPISO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO GENERAL
	5,09%			6,18%	6,05%	7,80%	8,37%
CIMENTACION (VIGAS Y ZAPATAS)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO GENERAL
		9,71%	10,73%	12,90%	10,47%	10,24%	10,81%
VIGAS AEREAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO GENERAL
	5%	4,10%	3,09%	6,12%	3,16%	7,84%	4,89%
COLUMNAS PRIMER PISO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO GENERAL
				10,69%	15,19%	11,67%	12,52%
COLUMNAS SEGUNDO PISO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO GENERAL
	16,87%	15,50%			17,18%		16,52%
PLACA DE ENTREPISO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO GENERAL
	6,88%				6,58%	5,95%	6,47%
ESCALERAS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO GENERAL
	15,94%					17,37%	16,66%
ALTILLO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO GENERAL
	10,32%	16,76%	10,08%	12,32%			12,37%
DESPERDICIO PROMEDIO CONCRETO:							11,07%

Tabla 2: Desperdicio mensual de Concreto Según Ubicación.

En el caso de los concretos para estructura y cimentación, se nota una alta variabilidad en el desperdicio de concreto según el lugar en donde se funde el mismo. (Ver Tabla 2). De esta manera, los valores mínimos se encuentran en los concretos empleados para las vigas aéreas del segundo piso, en donde los datos oscilan entre un 3% y 5%, lo cual está dentro del desperdicio que se consideró durante los cálculos de cantidades de obra para el caso de los concretos (5%). Sin embargo, en el mes de Junio se disparó el valor de desperdicio a un 7% debido a que se produjo una falla de formaleta en la obra (soldadura de una cercha) de tal manera que durante la fundida se perdió una cantidad considerable de concreto. Este hecho es fácilmente visible en la Figura 1.

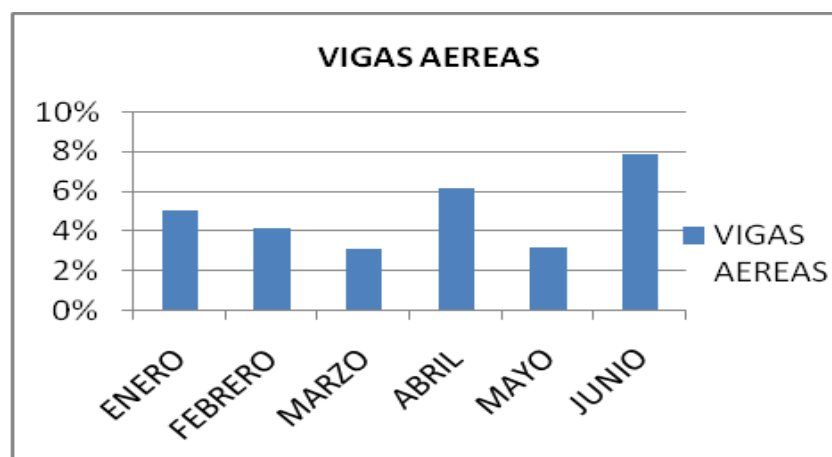


Figura 1: Desperdicio de Concreto para Vigas Aéreas.

Los demás desperdicios se consideraron que estaban asociados al transporte vertical (subida al segundo piso) y horizontal (acarreo en carretilla hasta el elemento) del concreto, pero no son representativos en este caso. A pesar de que este hecho evidencia una falla en la supervisión del proceso de fundición

de concretos, no se considera como grave, debido a que los datos de desperdicios así lo demuestran (desperdicio cercano al esperado).

En la construcción de placas de entrapiso y Contrapiso (Ver Figuras 2 y 3) se presentaron desperdicios por encima del 5%, y aunque los valores no están muy alejados de ese índice (6,47% y 8,37% respectivamente), es necesario controlarlos, puesto que las cantidades de concreto que se destinan para esos ítems son altas y cualquier desviación de las cantidades y desperdicios presupuestados pueden representar grandes pérdidas económicas para la empresa constructora. En el caso de la placa de Contrapiso, se incrementó el desperdicio debido a que no se hizo una adecuada supervisión y seguimiento al relleno de nivelación que sustenta la placa, por tanto, cualquier bache en el relleno representa un aumento en la cantidad de concreto requerido para fundirla. (Figura 2).

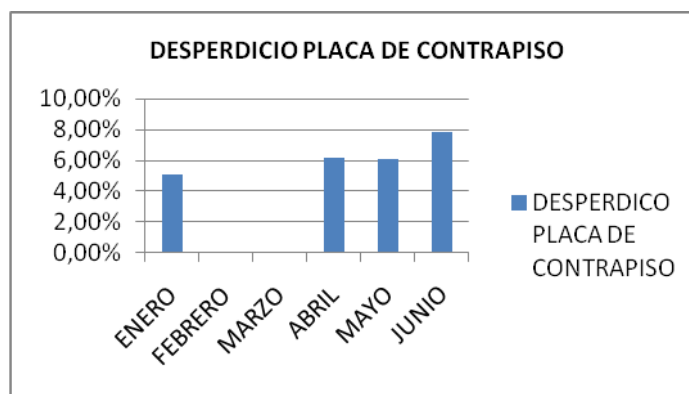


Figura 2: Desperdicio de Concreto para Placa de Contrapiso.

En cuanto a la placa de entrapiso, se notó que el alza en el desperdicio de concreto se debe a que en el acarreo del material del primer al segundo piso (transporte vertical) se presentan derrames. Así mismo, la formaleta empleada para contener el concreto posee brechas que no se están tapando (con tela asfáltica o plástico) por las que se escapa el material. Esto evidencia otra falla en el control y supervisión de actividades así como el uso de equipos en mal estado.

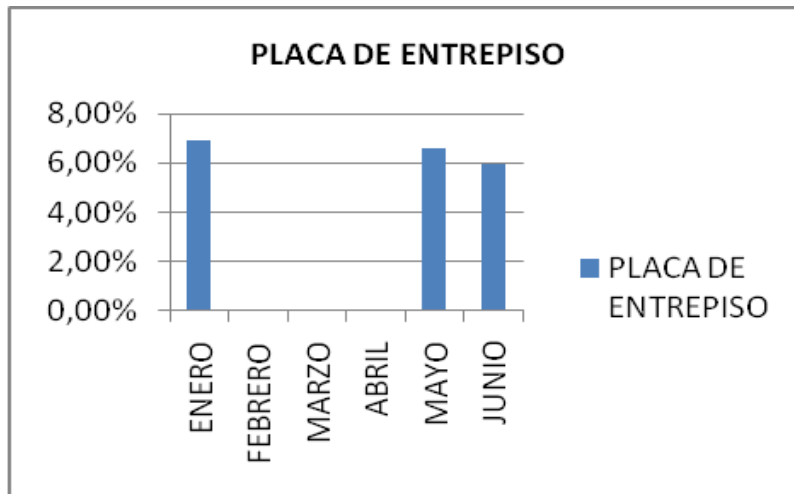


Figura 3: Desperdicio de Concreto para Placa de entrepiso.

Si se observan los datos de desperdicios de las demás actividades donde se emplea el concreto (cimentación, columnas y escaleras), se nota que los desperdicios sobrepasan el 10%, lo cual es alarmante puesto que el desperdicio esperado solo era del 5%.

El caso de los elementos de cimentación, es similar al de la placa de Contrapiso. Debido a que el terreno de fundación era rocoso, fue necesario realizar detonaciones lo cual incrementó la irregularidad de las cajas que contienen el concreto. Esto, sumado al hecho que para fundir dichos elementos, se tiene el preconcepción de no emplear formaletas que contengan el concreto, condujo a un consumo de concreto mucho mayor al esperado. La tendencia del desperdicio en la actividad fue aproximadamente de 12% (Ver Figura 4).

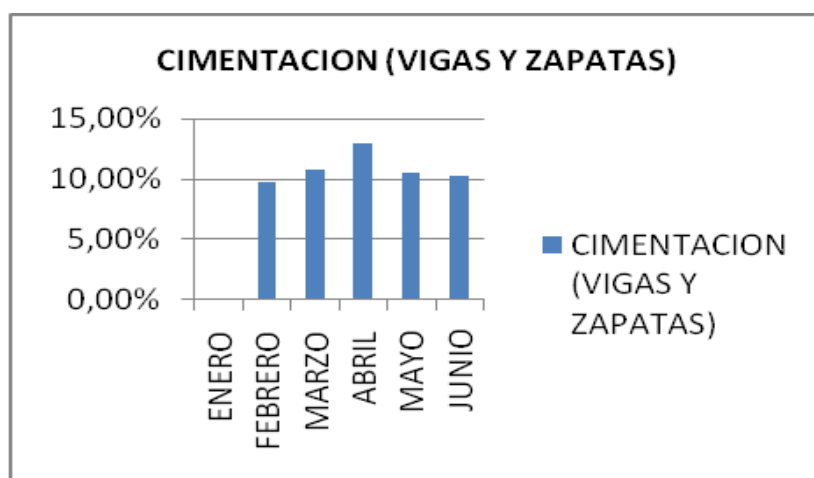


Figura 4: Desperdicio de Concreto para Cimentación.

En cuanto a las columnas del primer y segundo piso el estudio arrojó valores de desperdicio que oscilan entre los 12,5% y 16,52% respectivamente (Ver figuras 5 y 6), se observó de nuevo que los altos desperdicios estaban asociados a derrames de material durante el transporte vertical y al uso de formaletas con superficies averiadas (arrugadas, agrietadas o hundidas), por lo cual se incurre de nuevo en fallas del método constructivo empleado y en el uso de equipos en mal estado.

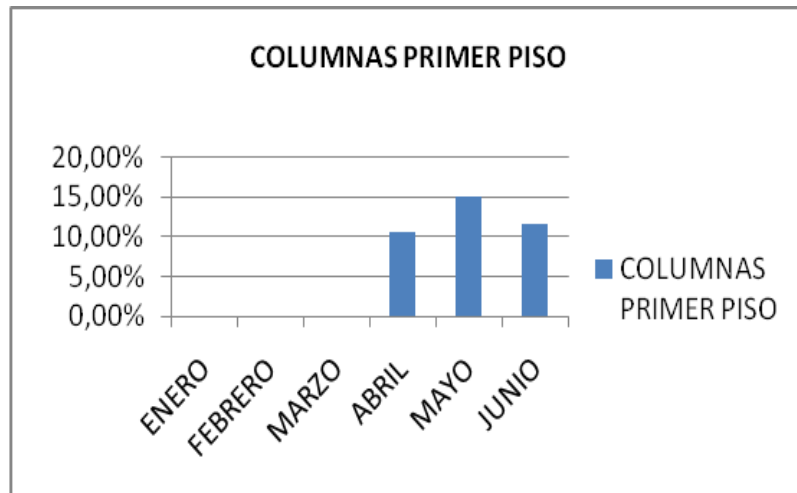


Figura 5: Desperdicio de Concreto para Columnas del Primer Piso.

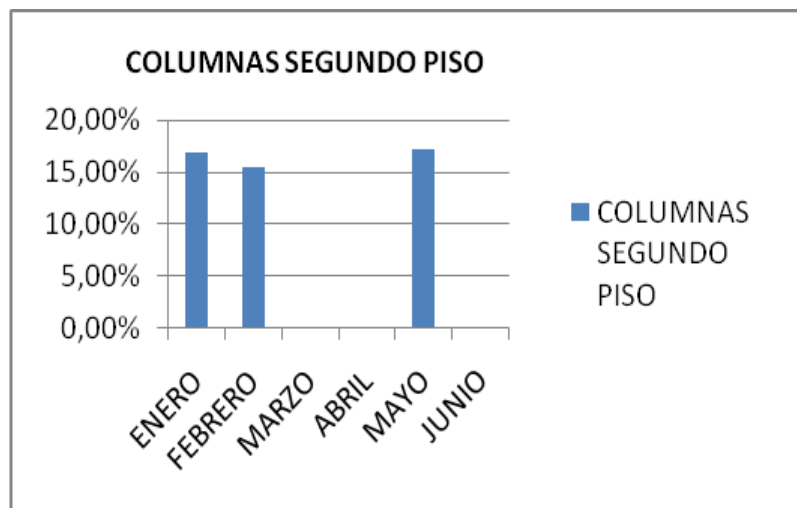


Figura 6: Desperdicio de Concreto para Columnas del Segundo Piso.

El dato de desperdicio más alto corresponde al de las escaleras que conducen del primero al segundo piso de las viviendas con un valor de desperdicio del 16,66% (Ver figura 7) y de la segunda planta al altillo con un valor promedio del 12% (Figura 8). En éstos casos se observó que para fundir estos elementos estructurales, se hacía uso de tablonces de madera que muchas veces estaban agrietados o doblados. Este hecho, sumado a la irregularidad de los elementos llevó a que se incrementaran los desperdicios de concretos. Cabe recalcar que, debido a las dimensiones de las escaleras, el volumen de concreto requerido para fundirlas es muy poco y cualquier volumen de concreto adicional, representa un alto porcentaje del volumen total, lo cual hace que el porcentaje de desperdicio sea muy elevado.

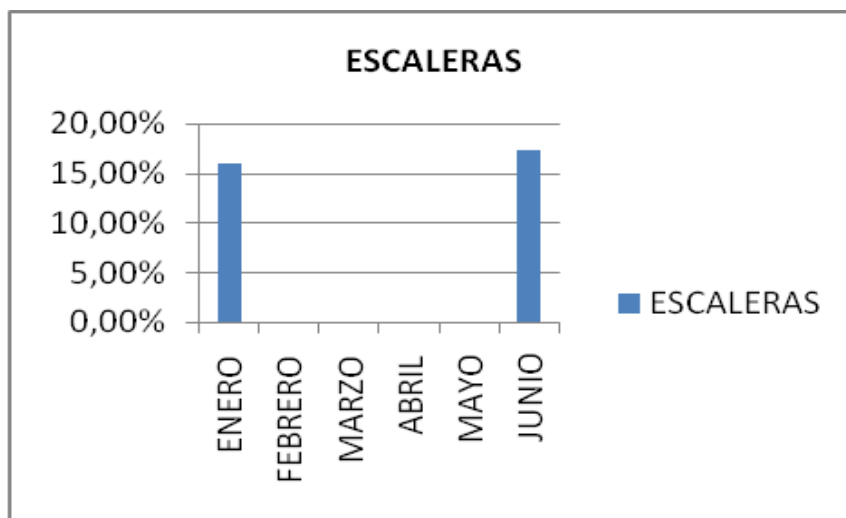


Figura 7: Desperdicio de Concreto para Escaleras.

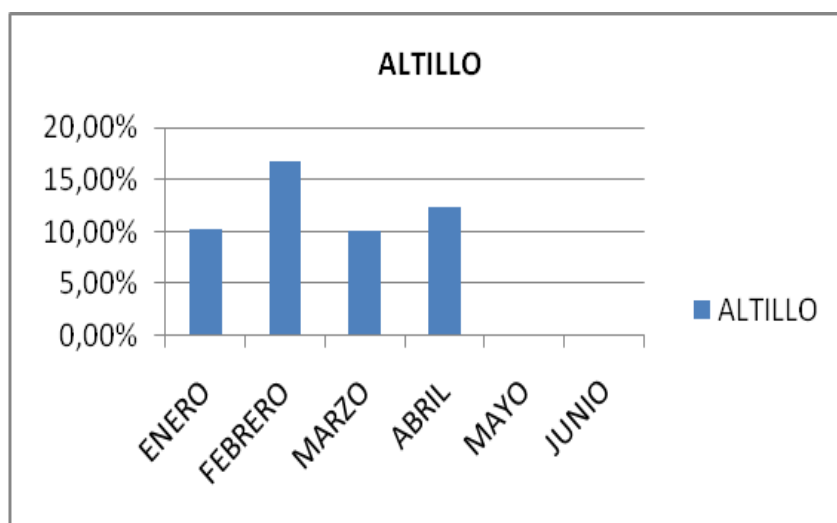


Figura 8: Desperdicio de Concreto para Construcción del Altillo.

- **Tablas y figuras de Desperdicio de Bloque H10 para mampostería de Enero a Junio de 2009.**

Los datos de desperdicios de bloque cocido tipo H10 usado para la mampostería de las viviendas de Enero a Junio de 2009 se muestran en el anexo 2 del presente documento. Éstos se organizaron en tablas con las siguientes columnas:

- **Actividad:** Corresponde al nivel donde se construyó la mampostería. Es decir, Primer piso, Segundo Piso o la mampostería de remate para la construcción del Tercer nivel opcional o “Altillo”, que para el presente estudio se denominará mampostería de “Cuchillas”³.
- **Cantidad Estándar:** Unidades de Bloques H10 que según planos deben consumirse para construir determinado muro.
- **Cantidad Ejecutada Real:** Corresponde al número de viviendas que se construyeron durante determinado mes en el proyecto.
- **Consumo Teórico:** Resultado de la multiplicación de las casillas de “Cantidad Estándar” y “Cantidad ejecutada Real”. Representa el consumo de unidades de bloque que en teoría debería presentarse.
- **Consumo Real:** Corresponde al número de unidades de Bloque H10 que en realidad se consumieron durante determinado mes para la construcción de los muros de Primer Piso, Segundo Piso o Cuchillas.
- **Desperdicio Bloques:** Representa la diferencia, expresada en unidades de bloque H10, entre el consumo real y el Teórico de dicho material.
- **Desperdicio por unidad de Vivienda:** Relación entre las casillas de “Desperdicio Bloques” y la de “Cantidad Ejecutada Real”. Representa el desperdicio de Unidades de bloque H10 por unidad habitacional.
- **Desperdicio:** Representa el porcentaje de desviación entre los datos del consumo de bloque esperado y el real por unidad de vivienda.

Al igual que en el caso del concreto para cimentación y estructura, se elaboró una tabla que consolidara los porcentajes de desperdicio promedio de bloque para mampostería de Primer, Segundo piso y cuchillas de los meses de Enero a Junio de 2009 y se generó la gráfica correspondiente. (Ver tabla 3 y Figura 9)

³ El término “cuchillas” se emplea para referirse a los muros laterales que se encuentran entre la viga cinta y la estructura de soporte de la cubierta.

ACTIVIDAD	DESPERDICIO POR MES (%)						
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO
Mampostería 1er piso	15,55%	27,40%		15,55%	10,05%	11,93%	16,09%
Mampostería 2do piso	11,19%	7,02%	10,27%	7,02%	8,97%	10,92%	11,08%
Cuchillas	7,33%	7,33%	9,31%	0,00%	25,21%	11,80%	12,19%

Tabla 3: Consolidado de Porcentaje de Desperdicios de Bloques H10 de Enero a Junio de 2009

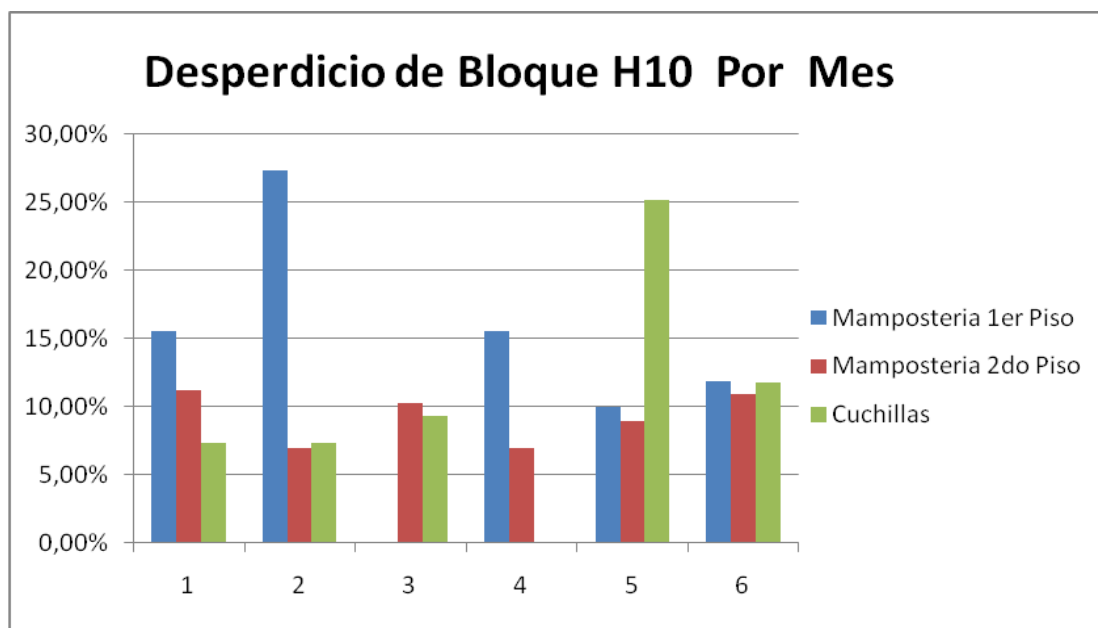


Figura 9: Desperdicios mensuales de bloque H10 por actividad constructiva

El porcentaje de desperdicio de bloques H10 que se consideró en la etapa de cálculo del proyecto fue de 10%. En la práctica, según los datos de consumo de dicho material, se evidencian porcentajes de consumo promedio entre el 11% y el 16% con datos de picos máximos de 15,55% y 27,44% en la mampostería del primer piso (Ver figura 9), lo cual sobrepasa el doble del porcentaje de desperdicio esperado. Dentro de las causas se tiene en primera medida que durante el diseño, no se previó el dimensionamiento de las áreas de tal manera que durante la construcción de los muros se empleara un número exacto de bloques H10 y que no existiera la necesidad de romperlos o dividirlos. También existe el hecho que para realizar el acarreo de los bloques desde el patio de almacenamiento hasta el lugar de construcción de las casas, se usan carretillas, por lo que los bloques se rompen o quiebran. Cuando el material es descargado en las casas, se hace una selección de los que llegan rotos y se desechan los que lleguen en mal estado, en lugar de guardarse y clasificarse para cuando se requieran “cuartos” o “medios” bloques. Con esto se eliminaría en parte la necesidad de tener que romper nuevas unidades de bloques para usar solo la mitad o un cuarto del mismo para completar un muro. Cabe resaltar que al realizar esta operación, solo se rescata una parte del

bloque y el resto se desecha en la mayoría de ocasiones debido a que se quiebra el resto de la unidad. Para cortar los bloques a medias o cuartas partes se hace uso de un palustre y a golpes, se moldea la fracción de la unidad, en lugar de hacer uso de una cortadora que disminuiría en gran medida el desperdicio.

En conclusión, según lo observado en campo, los altos desperdicios en el bloque H10 en el proyecto de “La Toscana”, se deben al transporte erróneo de materiales y malas prácticas durante la construcción de la mampostería, así como una deficiente dirección y supervisión del proceso.

- **Tablas y figuras de Desperdicio de Cemento de Enero a Junio de 2009.**

Seguidamente, se tabularon los datos de desperdicios de cemento usado para realizar los frisos del primer y segundo piso, de la fachada principal y del mortero de pega de la mampostería de las viviendas de Enero a Junio de 2009 (Anexo 3). Éstos se organizaron en tablas que constan de las siguientes columnas:

- Actividad: Corresponde al nivel donde se usó el cemento ya sea como parte de un mortero para friso o pega.
- Consumo Estándar: Es la cantidad de cemento expresada en Kilogramos que se empleó en la actividad especificada.
- Cantidad Ejecutada: Corresponde al número de viviendas que se construyeron durante determinado mes en el proyecto.
- Consumo Teórico: Es la cantidad de Kilogramos de cemento que en teoría se deberían haber consumido para realizar la construcción de determinado número de viviendas.
- Consumo Real: Corresponde a la cantidad de kilogramos de cemento que se requirieron para realizar actividades de friso y pega de mampostería en determinado número de viviendas.
- Desperdicio (Cantidad): Diferencia entre el consumo real y teórico de cemento expresada en Kilogramo.
- Desperdicio por Unidad de Vivienda: Se refiere al desperdicio de kilogramos de cemento por unidad habitacional.
- Desperdicio: Representa el porcentaje de desviación entre los datos del consumo de cemento esperado y el real por unidad de vivienda. Seguidamente, se elaboró una tabla que consolidara los porcentajes de desperdicio promedio de cemento para pega de mampostería y frisos de Primer, Segundo piso y fachadas de los meses de Enero a Junio de 2009 y se generó la gráfica correspondiente.

En la Tabla 4, se consolidan los datos promedio de desperdicios de cemento para friso de primer y segundo piso, culatas y fachadas, así como el usado para fabricar morteros de pega de mampostería durante el primer semestre de 2009.

ACTIVIDAD	DESPERDICIO POR MES (%)						
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	PROMEDIO
Friso 1er piso	3,20%	3,82%	4,00%	4,00%	6,36%	3,60%	4,16%
Friso 2do piso	3,20%	4,00%	7,71%	7,25%	6,60%	4,00%	5,46%
Friso fachada principal	7,08%	6,75%	4,38%	4,38%	3,59%	5,74%	5,32%
Friso fachada posterior		3,82%	4,87%	8,33%		4,00%	5,26%
Mortero de Pega	19,05%	1,87%	6,13%	1,81%	5,56%	11,66%	7,68%
Frisos culata			2,92%	5,44%		4,00%	4,12%

Tabla 4: Consolidado de desperdicios de cemento de los meses de Enero a Junio de 2009

A través de la Tabla 4 se visualiza que el desperdicio de cemento es el menos crítico entre los casos de las actividades escogidas como objeto de estudio en el presente trabajo de grado. En teoría, se esperaba un desperdicio máximo de 5% y según los datos de consumo de cemento recopilados en campo de enero a junio de 2009, se encuentran desperdicios que oscilan entre el 1,81% como mínimo y el 19,05% como pico máximo. Existe un dato muy elevado de desperdicio del mes de enero de 2009 en el cemento usado para morteros de pega de mampostería (19,05%).

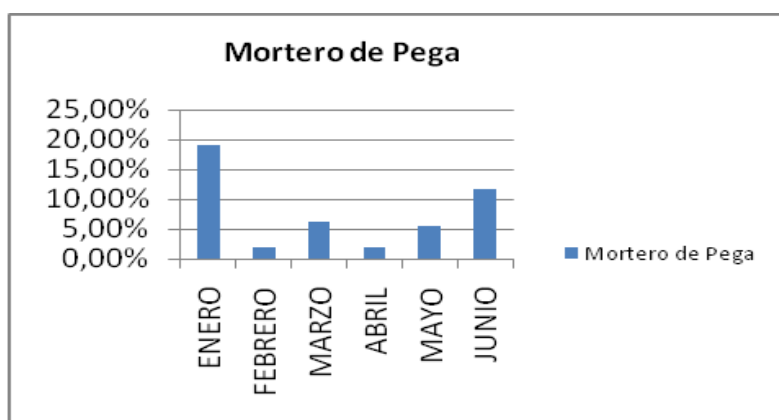


Figura 10: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Mortero de Pega Para Mampostería.

Al hacer una investigación con el director de obra, éste manifiesta que se debió a que la mano de obra que se empleó ese mes era inexperta y al notarse los elevados consumos de materiales, se le solicitó al contratista cambio de cuadrilla, lo cual se refleja en la disminución de desperdicio en el mes de febrero al 1,81%. Adicionalmente, se encontró que la rotación del personal perteneciente a esta cuadrilla es alto, por lo que se nota irregularidad en los

valores de desperdicio de cada mes. Sin embargo, al observar el dato de desperdicio promedio (7,68%) se encuentra que no está tan alejado del valor del desperdicio esperado (5%). (Observar Figura 9).

Para el caso de los datos de desperdicio de frisos para muros internos del primer y segundo piso que sobrepasan el 5% (Ver Figuras 10 y 11), se encontró que se deben a anomalías encontradas en el alineamiento de los muros, lo cual se debe corregir con el espesor de friso y llevado a cantidades de consumo se traduce en desperdicio de material (cemento).

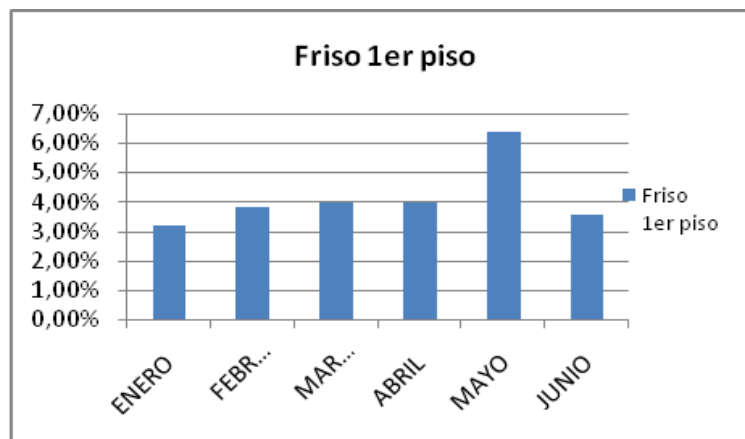


Figura 11: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Friso de primer piso.

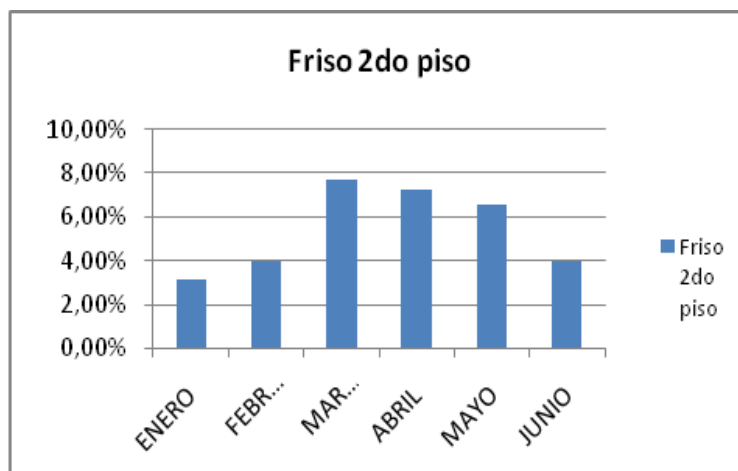


Figura 12: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Friso de Segundo piso.

En cuanto al friso de las fachadas (Figuras 12 y 13) y de las culatas (Figura 14), el desperdicio presentado es muy bajo considerando el hecho de que estas superficies tienen acabados rústicos por lo que se esperaba que el desperdicio fuera mayor debido a la imposibilidad de controlar los espesores del acabado.

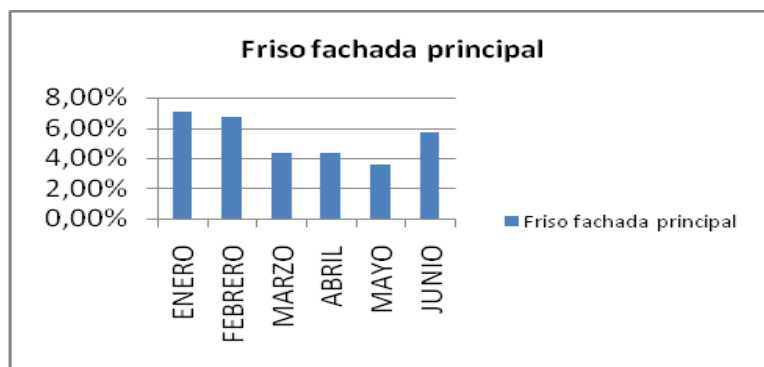


Figura 13: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Friso de Fachada Principal.

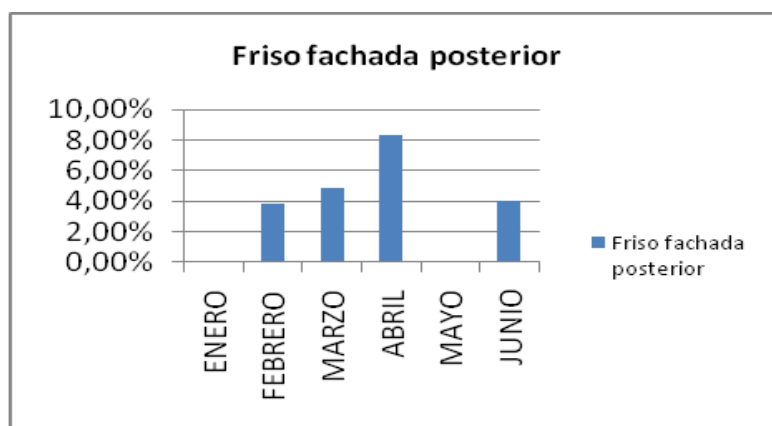


Figura 14: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Friso de Fachada Posterior.

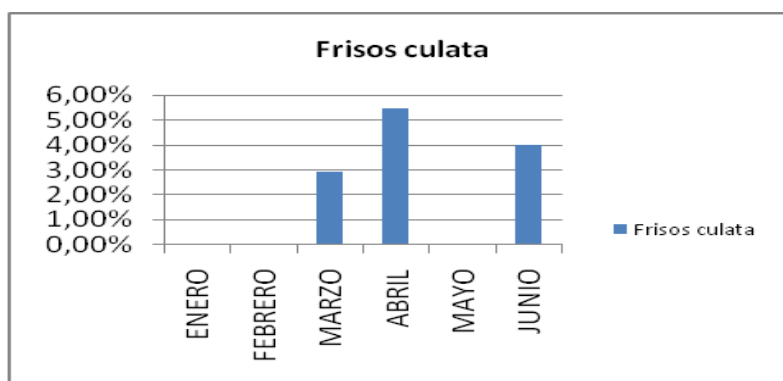


Figura 15: Comportamiento mensual del desperdicio de cemento en Frisos de Culata.

4.2 Variación del Porcentaje de Incidencia de las actividades constructivas en el costo del proyecto a causa del incremento en el consumo de materiales.

Mediante el análisis de los datos tomados en campo, obtenemos entonces, que los incrementos en el consumo de material en las diferentes actividades constructivas repercuten directamente en el presupuesto general de la obra, específicamente en el costo directo ya que es allí donde se ubican las actividades a analizar, por lo tanto, se puede corroborar que la implementación de la filosofía “*Lean Construction*” se constituye en una herramienta gerencial que nos permite identificar y valorar los desperdicios, y de esta manera estimar la variación en el presupuesto general de la obra.

En la Tabla 5, se presenta el peso porcentual de las actividades constructivas en estudio, junto con los porcentajes de desperdicio presentado para cada una de ellas, con lo cual se puede determinar el incremento en el presupuesto de inversión para cada actividad y por consiguiente podemos estimar la diferencia entre éste y el presupuesto de la obra.

ACTIVIDAD CONSTRUCTIVA	PESO DE ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS EN EL PRESUPUESTO INICIAL	DESPERDICIO ESPERADO POR ACTIVIDAD	DESPERDICIO REAL POR ACTIVIDAD	INCREMENTO EN EL PRESUPUESTO DE INVERSIÓN
CIMENTACIÓN	19,63%	5,00%	11,07%	21,80%
ESTRUCTURA				
MAMPOSTERÍA	5,28%	10,00%	13,12%	5,97%
PAÑETE	4,25%	5,00%	5,33%	4,48%
TOTAL	29,16%			32,25%
DIFERENCIA	3,09%			

Tabla 5. Variación en el presupuesto de inversión por desperdicios en las actividades constructivas

En este sentido, se evidencia que el incremento en el porcentaje general de la inversión representa una cifra considerable dentro de los costos directos del presupuesto general de inversión destinado para este proyecto, evidenciando entonces, que financieramente es mas económico invertir en medidas eficientes de planificación, control y seguimiento, que asumir la variación en el presupuesto a causa de su incremento por alto consumo de materiales.

5. ANÁLISIS CAUSA – EFECTO DE ACTIVIDADES

Como se puede observar, existe una alta variación entre los valores de desperdicios de las diferentes actividades estudiadas durante los meses de Enero a Junio de 2009.

Es por ello, que para detectar las causas que generan esos desperdicios, se hace necesario realizar un análisis Causa – Efecto del comportamiento de los desperdicios de materiales (bloque y mortero para mampostería, concreto para cimentación y estructura y cemento para frisos) con el fin de detectar las razones por las cuales se presenta estas variaciones en el consumo del material.

Cabe resaltar, que a pesar de que este análisis causa - efecto se enfocó a las actividades de concretos, frisos y mampostería, es también aplicable a las demás actividades y procesos que tienen lugar en el proyecto, debido a que dicho análisis hace referencia a aspectos generales de coordinación, dirección y logística de los procesos.

5.1 Análisis Causa – Efecto General de Altos Desperdicios de Materiales.

A continuación, se muestra el diagrama Causa – Efecto realizado para las actividades de concretos, frisos y mampostería, las cuales se definieron desde el inicio como “importantes” debido a su porcentaje de incidencia dentro del presupuesto de la obra.

En el diagrama, se asociaron seis aspectos pertenecientes a las actividades de construcción: Recurso Humano, Herramientas – Maquinaria – Equipos, Medio ambiente y Ambiente de Trabajo, Método, Especificaciones Técnicas y Materiales con los fenómenos de desperdicios estudiados en el proyecto.

ANALISIS CAUSA - EFECTO POR ALTOS PORCENTAJES DE DESPERDICIO DE MATERIALES EN OBRA

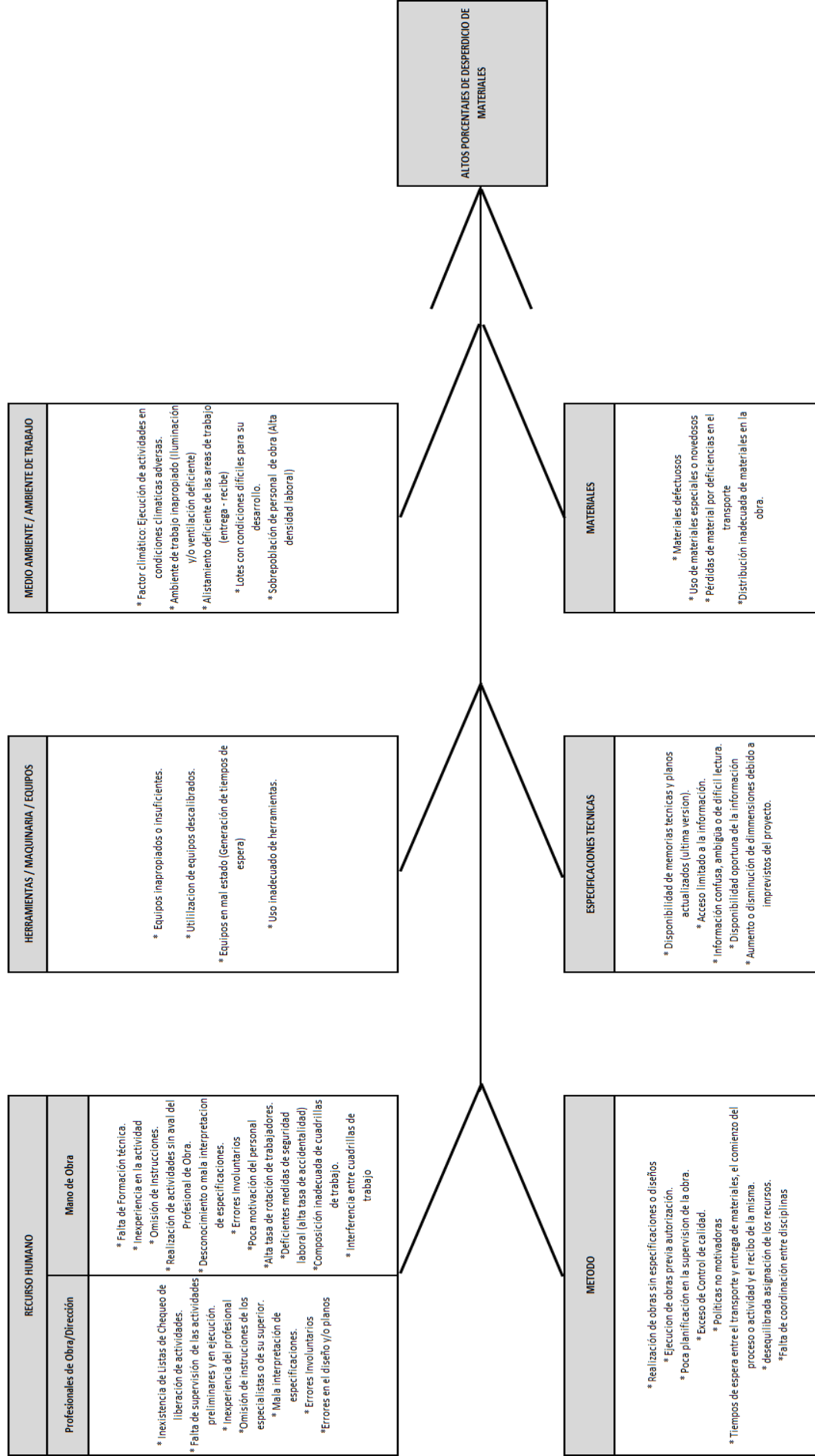


Figura 16. Diagrama Causa - Efecto por Altos Desperdicios de Materiales

Como se puede observar, existen muchos factores que a pesar de ser obvios a los ojos de la gerencia, profesionales y supervisores de obra, se dejan sueltos y no se les presta mayor atención, lo cual desencadena no sólo altos consumos de materiales (desperdicios) sino, atrasos en el cronograma de obra, mala calidad de los productos e insatisfacción de los clientes internos y externos de los procesos, además de constituirse en malas prácticas que se arraigan dentro de la compañía llevándola a tener que asumir reprocesos y por tanto, incrementando los gastos operativos y administrativos yendo en detrimento de la utilidad de la misma.

Es importante aclarar que el hecho de que se tomen datos para realizar el cálculo de indicadores no significa que se esté haciendo un verdadero análisis representativo de los mismos. Cuando la compañía incurre en el cálculo sin análisis de indicadores de procesos, asume una actitud conformista, que sólo acarrea pérdidas en la empresa y malas prácticas en los procesos. Los indicadores dentro de los procesos deben constituirse en una herramienta de medición de la eficiencia y efectividad de los mismos, ya que a través de ellos, se abre una puerta para formular acciones de mejora, preventivas y correctivas, por lo que su planteamiento, cálculo, revisión y análisis debe constituirse como una práctica sana y permanente dentro de la organización.

La importancia del seguimiento de los procesos a través de la implementación de indicadores radica en que a través de éstos se contribuye a identificar y mejorar las debilidades, y promover las buenas prácticas dentro de la organización. Con esto, se mejora la productividad de la empresa y se acelera el crecimiento de la misma dentro del mercado, mejorando las posibilidades para que se conviertan en líderes del sector.

Para llegar a este nivel de crecimiento dentro de una organización, es necesario comenzar por crear una cultura de mejoramiento y supervisión constante de procesos que sea tendiente a la mejora continua y a la optimización de actividades, buscando reducir hasta eliminar aquellas que no agregan valor.

5.2 Diagrama Causa – Efecto para el Mejoramiento de La Productividad en La Obra.

A continuación, se muestra un diagrama Causa – Efecto, que detalla las buenas prácticas dentro de cada uno de los seis componentes de procesos que se estudiaron en el Diagrama Causa – Efecto de la figura 16.

ANÁLISIS CAUSA - EFECTO DE FACTORES QUE INCIDEN EN LA REDUCCIÓN DE DESPERDICIO DE MATERIALES

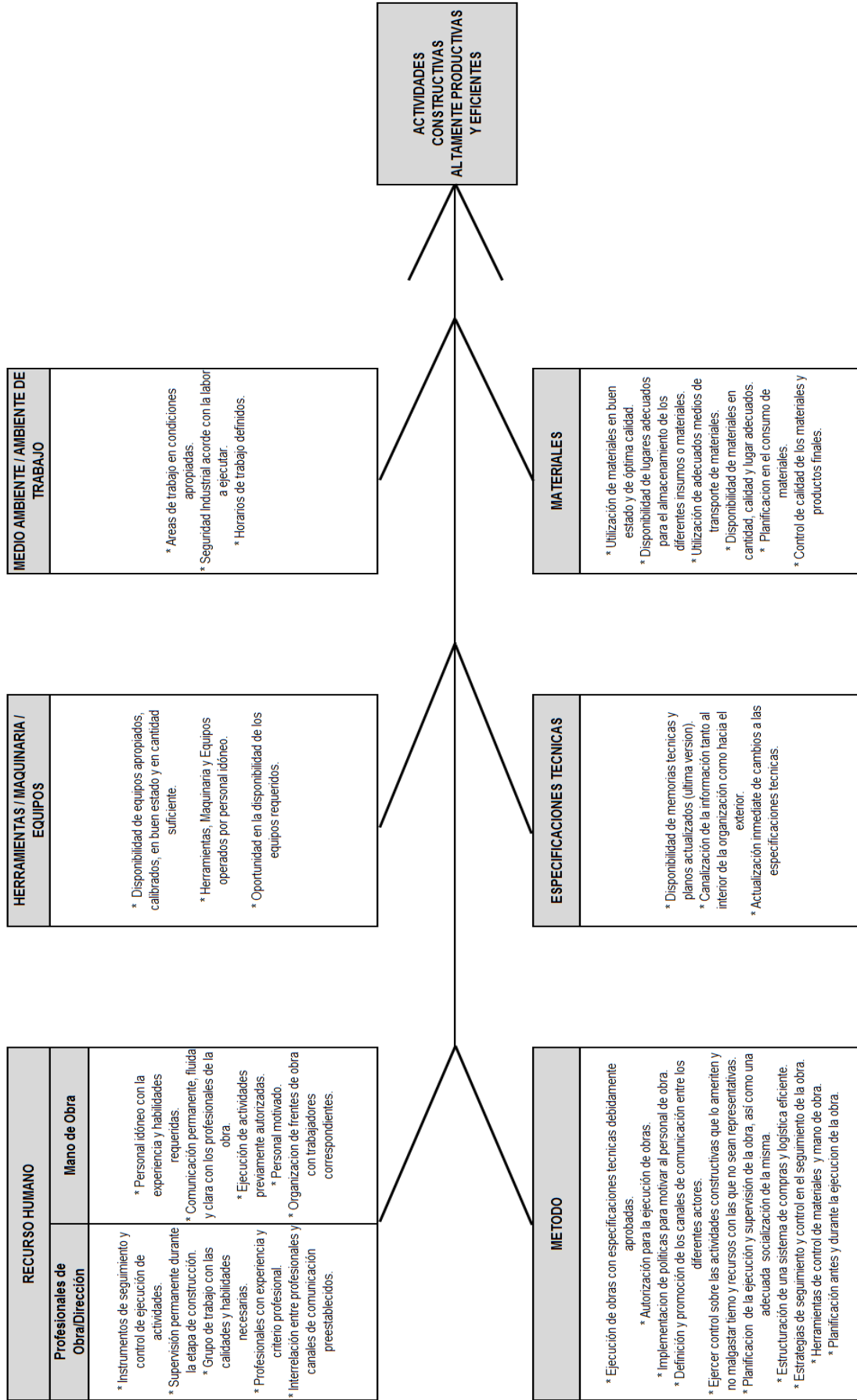


Figura 17. Diagrama Causa -Efecto para mejorar la Productividad en las actividades de construcción

6. APLICACIÓN DE TÉCNICAS LEAN EN ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN.

“Lean Construction” sugiere la práctica de algunos principios que pretenden mejorar la productividad durante las diferentes actividades constructivas ejecutadas a lo largo de la obra. Estas prácticas se pueden aplicar tanto a las actividades en estudio como a aquellas que representan cierta importancia y variabilidad durante la ejecución de un proyecto que por sus condiciones particulares ameriten un control específico.

Es importante que las organizaciones tengan en cuenta algunas de los principios básicos de “Lean Construction” como una herramienta para mejorar sus procesos, estos principios son: [Botero, 2009].

- Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor.
- Incremento del valor del producto.
- Reducción de la variabilidad.
- Reducción del tiempo de ciclo.
- Simplificación de procesos.
- Incremento de la flexibilidad de la producción.
- Transparencia del proceso.
- Enfoque del control al proceso completo.
- Mejoramiento continuo del proceso.
- Balance del mejoramiento del flujo con mejoramiento de conversión.
- Referenciación (Benchmarking).

6.1 Reducción de las actividades que no generan valor agregado (perdidas)

Esta práctica se puede realizar mediante la elaboración de diagramas de flujo de las actividades constructivas claves o más representativas que se ejecutaran durante la ejecución de la obra, analizarlas y posteriormente evaluarla. Una vez identificadas las diferentes falencias se debe hacer el reentrenamiento del personal vinculado a la actividad con el fin de implementar

las mejoras propuestas y continuar con este ejercicio en busca de la optimización de los procesos.

6.2 Incremento del valor del producto.

Se entiende que a lo largo de la línea de producción o construcción en este caso, existen dos tipos de clientes, el cliente inmediato y el cliente final, los cuales deben ser definidos para cada actividad constructiva.

No solamente basta con la identificación del cliente inmediato en cada proceso sino que se hace necesario identificar cuales son los requerimientos de este para recibir su producto e iniciar su labor.

Entonces, se quiere decir que los actores en los diferentes procesos deben conocer tanto las especificaciones de las actividades constructivas que van a desarrollar como aquellas requeridas para la ejecución del proceso siguiente.

En la medida que se tenga implementada esta practica, es factible que durante las planificaciones intermedias o periódicas se identifiquen las necesidades para la ejecución de cada actividad, lo cual nos permite su desarrollo considerando los aspectos críticos que posteriormente puedan ocasionar perdidas de tiempo o recursos.

6.3 Reducción de la variabilidad.

La variabilidad es el fenómeno causado por las modificaciones dadas a la planificación inicial establecida para la ejecución de la obra, entonces, si se elimina la variabilidad se deduce que el sistema de planificación es confiable.

Generalmente, la variabilidad puede estar asociada a factores como modificaciones del producto entregado al cliente, el tiempo necesario para la ejecución de una actividad, entre otras; es decir, por ejemplo, se espera recibir un producto con determinadas especificaciones y recibe uno con alguna modificación o en un tiempo diferente al esperado.

6.4 Reducción del tiempo de ciclo.

Además de la calidad y el valor, el tiempo de ciclo es una de las maneras más utilizadas para medir la duración de ejecución de una actividad, ya que se determina el tiempo necesario para acometer determinadas actividades en un escenario estimativo.

Dentro de la filosofía Lean Construction se pretende comprimir los tiempos de ciclo estimados para la ejecución de las diferentes actividades, así como reducir el tiempo estimado para inspecciones, movimientos o transporte, esperas y otros, produciendo ventajas como verificación de actividades que pueden pasar de ejecución secuencial a ejecución paralelo, lo cual nos permite

perfeccionar nuestro sistema de planificación, cumplir con los tiempos acordados, mejorar de la logística interna, etc.

Para el caso de la reducción del tiempo de ciclo en la actividad de inspección en campo, en el mercado existen dispositivos electrónicos con programas informáticos aptos para la toma de información y registro inmediato de los diferentes aspectos a verificar o controlar, por ejemplo avance de obra, inventario, control de personal, etc.

6.5 Simplificación de procesos

Dentro de la actividad de la construcción, la simplificación de los procesos se puede entender como la eliminación de prácticas que no generen valor agregado al producto, para lo cual se deben considerar aspectos como la reducción del número de procesos dentro del flujo de materiales o información, estandarización de actividades, materiales y herramientas, utilización de productos de fácil accesibilidad y transporte, etc.

6.6 Incremento de la flexibilidad de la producción.

Corresponde a la identificación de posibles sucesos dentro de las actividades constructivas, con el fin de establecer planes de contingencia que nos permitan acometer otras actividades mientras se superan alguna eventualidad que se presente, con el fin de evitar que el ritmo de avance del proyecto disminuya o en el peor de los casos se detenga.

6.7 Transparencia del proceso

Consiste en la implementación de estrategias de divulgación de cronogramas de obra, ciertos planos y especificaciones, capítulos principales de actividades, participantes del proyecto, etc, al personal de la obra, con el fin de disminuir la propensión al error por deficiencia de información o direccionamiento, incrementar la motivación a proponer mejoras y aumentar la visibilidad de errores. Así mismo, permite incorporar mecanismos para que las personas reconozcan a través de un lenguaje visual las normas aplicables al proyecto, facilitando la comprensión de las mismas, y en algunos casos ofrecerle al personal criterios para establecer rangos de aceptación de los productos y procesos. A través de esta herramienta, se facilita el control y el mejoramiento continuo de la obra.

Esta técnica es extensible a la socialización que se debe hacer con la comunidad con el fin de generar un ambiente de acercamiento y receptividad entre la obra y los habitantes vecinos.

6.8 Enfoque del control al proceso completo.

En el proyecto debe establecerse una unidad jerárquica a través de la cual se canalicen todos los requerimientos del cliente de los diferentes frentes de trabajo con el fin de unificarlas, organizarlas y analizarlas para crear los controles a tener en cuenta durante su ejecución. Es decir, crear un mecanismo de visualización y control global de la obra sin perder de vista a su vez la visualización y el control en cada una de las actividades constructivas que la conforman.

6.9 Mejoramiento continuo del proceso.

Consiste en la identificación y, la comprensión de los procesos inherentes a determinado proyecto con el fin de establecer y aplicar mecanismos de medición de la productividad que sea posible realizar un análisis del comportamiento de la misma para retroalimentar cada uno de los procesos y generar mejoras. Ese ejercicio debe constituirse en una práctica permanente dentro de las organizaciones con el fin de optimizar las actividades constructivas que tienen lugar en la obra y favorecer el crecimiento de la organización.

6.10 Balance del mejoramiento del flujo con mejoramiento de conversión.

En construcción de obras el flujo es considerado como el tiempo de espera y transporte de materiales que se presenten dentro de la misma, mientras que las conversiones corresponden a las transformaciones de los materiales para generar un producto a lo largo de la cadena de producción o ejecución de la obra.

Entonces, mediante la implementación de esta técnica se propone realizar un mejoramiento continuo (ver inciso anterior), con el fin de optimizar los procesos de la obra mediante la eliminación de flujos innecesarios y armonizarlos con la conversión del producto para que funcionen como un todo.

6.11 Referenciación (Benchmarking)

La técnica del benchmarking [Boxwell, 1996] propone el estudio y conocimiento de los procesos y subprocesos internos de la organización, con el fin de identificar sus fortalezas y debilidades y compararlas con los competidores líderes del sector. Una vez realizado el análisis comparativo se procede a copiar, modificar o incorporar en los procesos internos las mejores prácticas de los competidores, todo esto enmarcado dentro de una competencia sana que propenda al mejoramiento continuo de las empresas del sector.

6.12 Último Planificador “Last Planner” [Botero, 2009].

Bajo el contexto de Lean Construction han emergido herramientas de planificación que contribuyen a la reducción de las pérdidas a lo largo de la ejecución de las diferentes actividades constructivas. Tal vez el sistema más reconocido y utilizado fue creado por Ballard y Howell, el cual fue denominado el último planificador “Last Planner System”. En este sistema se definen las unidades de producción y el control de las actividades mediante la asignación de labores. Adicionalmente, a través del sistema se pueden determinar los problemas desde su origen, permitiéndonos tomar los correctivos necesarios a tiempo, traduciéndose en incremento de la productividad.

Dentro de los principios de “Lean Construction” se hace referencia a la implementación de una figura denominada Último Planificador – Last Planner la cual tiene como finalidad el incremento de la confiabilidad mediante la reducción o eliminación de la incertidumbre generada por el proyecto a causa de las posibles situaciones que se pueden presentar debido a la particularidad de la obra.

Con el fin de lograr lo anterior, cada organización debe estructurar un plan de acción general que sirva como directriz para la ejecución de la obra, pero adicionalmente es conveniente realizar planificaciones intermedias o periódicas que permitan identificar las restricciones que se puedan presentar y tomar las acciones necesarias de manera proactiva, lo cual finalmente permite la ejecución de las labores programadas sin contratiempo, incrementando la productividad.

Sumado a lo anterior, los participantes en las reuniones de planificación periódica se fijan las metas a cumplir durante el periodo siguiente, las cuales se controlan mediante el Porcentaje de Asignaciones Completadas “PAC” que es la cantidad de acciones realizadas dividido en la cantidad de acciones programadas, por lo tanto, le permite al sistema Last Planner comparar lo programado con lo verdaderamente ejecutado, convirtiéndose en un sistema confiable con información actualizada.

A continuación, en la Tabla 6, se proponen algunos mecanismos que se encuentran asociados a los principios de la filosofía LEAN para las actividades de Concretos para estructura y cimentación y de mampostería. Se excluye de éste análisis la actividad de friso debido a que durante el análisis de los datos de consumo de materiales se evidenció que el desperdicio asociado a ella, se encuentra dentro del rango de aceptación fijado por la compañía.

PRINCIPIOS LEAN	ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS	
	CONCRETO ESTRUCTURA Y CIMENTACION	MAMPOSTERIA
Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor.	<ul style="list-style-type: none"> - Destinar recipientes de acopio de concreto para evitar desperdicios del mismo. - Disponer de mecanismos adecuados para transporte vertical y horizontal (recipientes y senderos estables) para evitar derrames. - En la cimentación si así se amerita, disponer de formaleta para delimitar el elemento estructural. (Control de sobreexcavación). - Asignación de formaleta en buen estado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Preservación de los bloques durante el transporte. - Usar herramienta adecuada (cortadoras) para dividir los bloques. - Hacer clasificación de los bloques averiados para reutilizarlos como medio o cuartos bloques
Incremento del valor del producto.	<ul style="list-style-type: none"> - Control de calidad en la dosificación, mezcla y curado del concreto. - Adecuada programación de obra prever fundidas de alta criticidad y controlarlas. - Estimación adecuada de desperdicios y cantidades por tipo de concreto. - Ceñirse al dimensionamiento estipulado en el diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Optimización de áreas en la fase de diseño previendo las dimensiones de los bloques y generar menos cortes de los mismos. - Control de dimensiones y plomos de muros para evitar reprocesos.
Reducción de la variabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Estandarización del proceso de fundida y curado del concreto. - Reducir la rotavilidad del recurso humano. - Implementación de un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos usados en las fundidas de concretos. - Estandarización del diseño. 	<ul style="list-style-type: none"> - Supervisión de las actividades y de la interacción entre ellas para evitar cambios inesperados de los muros y atrasos en el proyecto. Ejemplo: mamposteros, regatas de cuadrilla eléctrica, frisadores, Pruebas Hidráulicas, etc)
Reducción del tiempo de ciclo.	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminación de tiempos de espera innecesarios (entregas de material, incumplimiento en entregas de actividades predecesoras, transportes innecesarios, etc). - Demoras en el suministro de concretos. - Disponibilidad limitada de medios de transporte del concreto Ej. carretillas, carros Mixers, Bombas, etc). - Disminuir esperas para aceptación de trabajos 	<ul style="list-style-type: none"> - Patios de acopio repartidos en el área de trabajo para disminuir distancias de acarreo de bloques. - Optimización del despacho del material (Compra y entrega al frente de obra) - Definición de roles dentro de la obra y de la cuadrilla. - Reducción en la espera de la supervisión
Simplificación de procesos.	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio previo del diseño para programar formaletería y ciclos de fundidas sin generar atrasos. - Programación y diseño de cuadrillas calificadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Optimización de los mecanismos de transporte de bloques para evitar daños en los mismos. - Patios de acopio repartidos en el área de trabajo para disminuir tiempo por acarreo de bloques o transporte vertical.
Incremento de la flexibilidad de la producción.	<ul style="list-style-type: none"> - Prever posibles atrasos de fundidas y diseñar planes de contingencia para contrarrestarlo. - Despachos de concreto de acuerdo a la cantidad realmente requerida. - Estimación certera del desperdicio para cálculo de cantidades de concretos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Establecimiento de criterios de aceptación o rechazo de mampostería terminada. - Prever compras para solventar posible escasez del material.
Transparencia del proceso.	<ul style="list-style-type: none"> - Socialización de cronograma de obra y plazos de ejecución de actividades. - Socialización de resultados de evaluación de metas cumplidas por los contratistas con sanciones o estímulos según cumplimiento. - Publicación de información determinada en sitios estratégicos de la obra para disminuir el margen de errores y estimular la participación proactiva del personal del proyecto 	
Enfoque del control al proceso completo.	<ul style="list-style-type: none"> - Implementación de reuniones de contratistas con fijación de metas y evaluación de cumplimiento. (formaleteros, figuradores de acero y fundida de concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Programación de construcción de muros según cronograma de entregas. - Logística y coordinación entre cuadrillas
Mejoramiento continuo del proceso.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño e implementación de indicadores de medición de los procesos productivos con retroalimentación continua. - Reuniones de socialización de resultados de indicadores y fijación de nuevas metas. 	
Balance del mejoramiento del flujo con mejoramiento de conversión.	<ul style="list-style-type: none"> - Estudiar los beneficios asociados al uso de materiales prefabricados (sardineles, pisos de madera prefabricados, placas de entepiso prefabricadas, drywall, muebles preensamblados, etc) y compararlo con la situación de lo presentado en la obra en aras de mejorar la productividad del proyecto. 	
Referenciación (Benchmarking).	<ul style="list-style-type: none"> - Desde la gerencia de la empresa estimular mecanismos de estudio de nuevas técnicas en el sector a nivel regional y nacional mediante la observación de casos exitosos para adaptarlos en la organización. 	

Tabla 6: Aplicación de principios LEAN a las actividades de concretos y mampostería.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Desde la fase de concepción de los proyectos de obras civiles se deben incorporar mecanismos que estén orientados a aumentar la productividad de las actividades mediante herramientas de seguimiento y control que ofrezcan información veraz, oportuna y actualizada del desempeño de los componentes de dichas actividades.
- La dirección de los proyectos desempeña un papel fundamental en el diseño e implementación de las herramientas de planificación estructuradas para el proyecto, obteniéndose como beneficio el poder tomar decisiones basadas en datos certeros y puntuales para formular estrategias de contingencia o mejora ante eventos inesperados o indeseados en el proyecto, y que a su vez, se constituyan en lecciones aprendidas aplicables a obras diferentes.
- Se observa que durante el proceso de cálculo de cantidades de obra, se usan valores de desperdicio de materiales que se tienen preestablecidos de manera general sin hacerse un análisis concienzudo de las condiciones específicas del proyecto y a pesar de que se tienen datos históricos de consumo de materiales por tipo de proyecto, estos no son revisados y utilizados como memoria de “lecciones aprendidas” que le permitan a la organización estimar cantidades de materiales y medidas de control para proyectos nuevos.
- De acuerdo a lo estudiado en campo, se observa que los altos índices de desperdicio de materiales están asociados, en la mayoría de los casos, a malas prácticas durante los procesos constructivos y a fallas en el método de supervisión de dichas actividades, que están arraigadas en las idiosincrasias de los trabajadores que laboran en el medio, lo cual puede ser mejorado a través de la implementación de políticas de gerencia que incluyan herramientas de planificación, seguimiento y control de la obra que involucren activamente al recurso humano del proyecto.
- Dentro del presente estudio se presentan conceptos generales de la filosofía “Lean Construction” que fueron aplicados para el análisis de las actividades constructivas seleccionadas, pero sin embargo, se debe tener en cuenta que dichos conceptos pueden ser igualmente aprovechados para el mejoramiento de cualquier tipo de proyecto de obra civiles, siempre y

cuando se haga un análisis previo del caso para adaptar los principios de tal manera que se obtenga el mayor beneficio posible para cada proyecto en particular.

- El diagrama Causa – Efecto del análisis de los Altos consumos de Materiales en la obra, se construyó con base en las falencias detectadas en las actividades de concretos para cimentación y estructura, cemento para frisos y morteros de pega y bloques para mampostería. Sin embargo, es aplicable de manera genérica a las demás actividades del proyecto, lo cual evidencia la importancia de realizar seguimientos continuos a los factores que allí se mencionan, aplicándolos a todas las actividades constructivas durante el desarrollo del proyecto.
- Durante la fase de diseño de proyectos deben tenerse en cuenta las presentaciones (Dimensiones y Características) de los materiales e insumos con el fin de disminuir los desperdicios durante la construcción de los proyectos, lo cual se refleja como ahorro para la empresa constructora.
- El “Lean construction” es una filosofía que, aplicada al sector de la construcción ha arrojado muy buenos resultados en cuanto a aumento de productividad y optimización de procesos, por lo cual se recomienda que las empresas de este renglón de la economía local comiencen a implementarla.
- El desperdicio de cemento en las actividades de friso se encuentra dentro de un rango de 4% al 7% para el proyecto de Vivienda Unifamiliar La Toscana, lo cual es muy cercano al porcentaje de desperdicio esperado (5%). A pesar de que ésta actividad se encuentra catalogada como una de las más representativas por su porcentaje de incidencia dentro del presupuesto, no es prioritario realizarle un control exhaustivo, debido a los bajos valores de desperdicios que se evidenciaron en obra.
- La actividad de estructura, que es la de mayor peso porcentual dentro del presupuesto (12,39%), según lo observado en campo, presentó desperdicios promedios del 11% mientras que el porcentaje de desperdicio esperado era de 5%. Se recomienda establecer mecanismos de planificación, control y supervisión más estrictos en esta actividad puesto que los sobrecostos asumidos por cada punto porcentual que se incremente el desperdicio en esta actividad son muy altos.

BIBLIOGRAFÍA

Alpin, Daniel W. & Leland S. Riggs. Planning and Analysis of Construction Operations. John Wiley & Sons, Inc., New York, New York. 1992

Botero, Luis Fernando y Álvarez Villa, Martha Eugenia. Last planner, Un avance en la planificación y control de proyectos de construcción. 2005.

Botero, Luis Fernando y Álvarez Villa, Martha Eugenia. Guía de mejoramiento continuo para la productividad de la construcción en proyectos de vivienda. 2004.

Howell, Gregory. "What is Lean Construction", 1999.

Koskela, Laury. "Application of the New Production Philosophy to Construction", 1992.

Oglesby, Charles; Parker, Harry. Productivity Improvement in Construction. McGraw-Hill, Inc., New York, NY. 1989.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[Botero, 2009] Botero, Luis Fernando. Memorias del Módulo “Lean Construction” de la Especialización En Gerencia E Interventoría De Obras Civiles de la Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, 2009.

[Boxwell, 1996]. Boxwell, Robert. Benchmarking Para Competir Con Ventajas, 1996.

[Consejo de Construcción Verde de España, 2008]. Consejo de Construcción Verde de España. www.spaingbq.org, 2008.

[Magazín “Metro Cuadrado.Com”, 2003]. Magazín “Metro Cuadrado.Com”, Edición Abril - Junio 2003.

[NSR, 1998]. Normas Colombianas De Diseño y Construcción Sismo Resistente Tomo I, 1998.

[Periódico “El Tiempo”, 2009] Periódico “El Tiempo”. Edición domingo 31 de mayo de 2009.

[Rojas, 2004] Rojas, Raúl. Estudio e Implementación de una nueva filosofía de Planificación de Proyectos “Lean Construction”. Universidad Andrés Bello. 2004.