

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS LEAN CONSTRUCTION PARA EL  
SEGUIMIENTO Y CONTROL DE UN PROYECTO  
DE OBRA CIVIL.**

**PRESENTADO POR  
FABIO HERNAN FLOREZ AGUDELO  
ID: 000245184**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2018**

**APLICACIÓN DE TÉCNICAS LEAN CONSTRUCTION PARA EL  
SEGUIMIENTO Y CONTROL DE UN PROYECTO  
DE OBRA CIVIL.**

**FABIO HERNÁN FLÓREZ AGUDELO**

**ID: 000245184**

**DIRECTOR ACADEMICO**

**Leonardo Barón Páez**

**Ingeniero Civil**

**DIRECTOR EMPRESARIAL**

**Eliseo Niño Pinilla**

**Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**SECCIONAL BUCARAMANGA**

**ESCUELA DE INGENIERIAS**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**2018**

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma presidente del Jurado

---

Firma Jurado N°1

---

Firma Jurado N°2

Bucaramanga, diciembre de 2018

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia por acompañarme en todo momento y brindarme la oportunidad de tener una buena educación.

A mis compañeros de vida, por siempre estar incondicionalmente para apoyarme y escucharme, en los buenos y malos momentos.

A la empresa BYA INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES y su equipo de trabajo, por darme la oportunidad de afianzar mis conocimientos en un proyecto tan especial tanto para la empresa, como para mi crecimiento profesional.

Y por último a mis directores de práctica, los Ingenieros Leonardo Barón Páez y Eliseo Niño Pinilla, por compartir sus conocimientos y acompañarme en el proceso final de mis estudios universitarios.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA B&A INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES	14
2.1 MISION	14
2.2 VISION	15
2.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA	15
2.4 SERVICIOS PRESTADOS POR B&A INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES	16
2.4.1 Administración delegada.	16
2.4.2 Construcción	16
2.4.3 Interventoría de obra:	16
2.4.4 Consultoría:	16
2.4.5 Gerencia de proyectos:	16
2.4.6 Estructurados de proyectos	17
2.4.7 Diseños:	17
3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	18
3.1 ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO – EN PROCESO DE EJECUCIÓN	19

3.2	MODELO DEL PROYECTO FINALIZADO	20
4.	ESTADO DEL ARTE	21
5.	MARCO TEÓRICO	22
5.1	LEAN CONSTRUCTION	22
5.2	HERRAMIENTAS DE LEAN CONSTRUCTION	23
5.2.1	Muestreo de trabajo	23
5.2.2	Carta de balance de cuadrilla	23
5.2.3	Time lapse	23
5.2.4	Last Planner	24
5.2.5	Encuesta de identificación de pérdidas	24
5.3	PLAN PARA MEDICIÓN DE PERDIDAS	25
5.4	DIAGRAMA DE ISHIKAWA	25
5.5	DIAGRAMA DE PARETO	26
6.	METODOLOGIA	27
7.	DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO	29
7.1	IMPLEMENTACIÓN DE LA PRUEBA DE LOS CINCO (5) MINUTOS	29
7.1.1	Clasificación general del tiempo	32
7.1.2	Categorización de tiempo contributivo.	33
7.1.3	Categorización del tiempo no contributivo	36
7.2	Implementación encuesta de identificación de pérdidas	42
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	48

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Tabulación por categorías del tiempo contributivo. ....	35
<b>Tabla 2.</b> Resumen por categorías del tiempo contributivo. ....	35
<b>Tabla 3.</b> Tabulación por categorías del tiempo no contributivo. ....	38
<b>Tabla 4.</b> Resumen por categorías del tiempo no contributivo. ....	39
<b>Tabla 5.</b> Tabulación de identificación de pérdidas. ....	44
<b>Tabla 6.</b> Tabulación de identificación de pérdidas. ....	44

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estructura organizacional de la empresa.....	15
<b>Figura 2.</b> Estado actual del proyecto.....	19
<b>Figura 3.</b> Estado actual del proyecto.....	19
<b>Figura 4.</b> Proyecto finalizado.....	20
<b>Figura 5.</b> Plan para medición de pérdidas.....	25
<b>Figura 6.</b> Diagrama de Ishikawa.....	26
<b>Figura 7.</b> Proceso constructivo evaluado.....	30
<b>Figura 8.</b> Formato prueba 5 minutos.....	31
<b>Figura 9.</b> Clasificación del tiempo.....	32
<b>Figura 10.</b> Categorías de tiempo contributivo.....	36
<b>Figura 11.</b> Categorías de tiempo no contributivo.....	40
<b>Figura 12.</b> Análisis de causa y efecto.....	41
<b>Figura 13.</b> Encuesta de identificación de pérdidas.....	43
<b>Figura 14.</b> Encuesta de identificación de pérdidas.....	43
<b>Figura 15.</b> Diagrama fuentes de pérdidas más frecuentes.....	45
<b>Figura 16.</b> Diagrama fuentes de pérdidas más frecuentes.....	46

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

<b>TITULO:</b>	APLICACIÓN DE TÉCNICAS LEAN CONSTRUCTION PARA EL SEGUIMIENTO Y CONTROL DE UN PROYECTO DE OBRA CIVIL.
<b>AUTOR(ES):</b>	Fabio Hernán Florez Agudelo
<b>PROGRAMA:</b>	Facultad de Ingeniería Civil
<b>DIRECTOR(A):</b>	Leonardo Barón Páez

### RESUMEN

El presente trabajo de grado describe la aplicación de una serie de herramientas basadas en la filosofía de Lean Construction con el fin de evaluar que tan eficiente puede llegar hacer su implementación en la etapa de ejecución de un proyecto para lograr un mejoramiento continuo. Principalmente lo que se hizo fue recopilar una serie de datos basado en dos herramientas: la prueba de los 5 minutos y una encuesta para identificación de pérdidas. La prueba de los 5 minutos o muestreo de trabajo consiste en observar durante cinco minutos el trabajo de la persona que está llevando a cabo cierto proceso constructivo, y clasificar el tiempo empleado durante este periodo. Esto con el fin de tener un diagnóstico más acertado, y determinar las principales causas del tiempo contributivo y no contributivo, para en un futuro establecer acciones con el fin de minimizar estos tiempos improductivos. La clasificación del tiempo muestra que el 25% del tiempo total es no contributivo, el 33% contributivo y un 42% productivo, es decir que una cuarta parte del tiempo empleado para la ejecución de la obra representa pérdida. El análisis de causas de los respectivos tiempos se llevó a cabo mediante un diagrama de Pareto, en donde se observó que los tiempos de espera de materiales, equipos, herramientas, instrucciones, entre otros, son la principal fuente de pérdidas con un porcentaje del 46%, representando casi la mitad del tiempo no contributivo. Por otro lado, las encuestas son un medio de retroalimentación que se implementó al personal encargado de ejecutar la obra y arrojó resultados bastantes contundentes sobre las fuentes de pérdidas que se presentan en la obra; Tanto los reprocesos como la necesidad de aclaración de la información fue mencionado por el 82.75% de los encuestados, siendo estas los dos grandes problemas a tratar.

### PALABRAS CLAVE:

tiempo, pérdidas, mejoramiento continuo, Lean Construction, proceso constructivo

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** APPLICATION OF LEAN CONSTRUCTION TECHNIQUES FOR THE MONITORING AND CONTROL OF A CIVIL WORKS PROJECT.

**AUTHOR(S):** Fabio Hernán Florez Agudelo

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Leonardo Barón Páez

### ABSTRACT

This degree work describes the application of a set of tools based on the philosophy of Lean Construction in order to evaluate that as efficient it can make its implementation on the stage of making a project to achieve a continuous improvement. What has been done was mainly collect data series based on two tools: the 5-minute test and a survey for identification of losses. The 5-minute test or sampling of work consist to observe the work of the person who is carrying out some building process for five minutes, and classify the time spent during this period. In order to have a more successful diagnosis and determine the major causes of time contributory and non-contributory, for future actions in order to minimize these unproductive time. The classification of the time shows that 25% of the total time is non-contributory, 33% contributory and 42% productive, meaning that a quarter of the time spent for the execution of the work represents loss. The analysis of causes of the respective times has been conducted through a diagram of Pareto, where it was observed that the waiting times of materials, equipment, tools, instructions, among others, are the main source of losses with a 46%, representing almost half of the non-contributory time. On the other hand, polls are a means of feedback that was implemented to the staff responsible for the work and produced results quite strong upon the sources of losses that arise in the work; Both the reprocesses and the need for clarification of the information it was mentioned by 82.75% of respondents, these being the two major problems to treat.

### KEYWORDS:

Lean Construction, time, losses, continuous improvement, building process.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción en Colombia se ha convertido en una pieza clave para el desarrollo económico del país en los últimos años; debido a su gran dinamismo, se constituye como uno de los sectores con mayor incidencia, por su estrecha vinculación con la creación de infraestructura básica como: vías, puentes, hidroeléctricas, puertos, presas, construcciones industriales, entre muchas otras, que traen consigo una mejor calidad de vida para los colombianos [1]. A pesar de su importancia, la industria de la construcción es uno de los sectores que menor grado de desarrollo presenta en la mayoría de los países latinoamericanos. Lo que conlleva a ser un sector con grandes deficiencias y falta de efectividad, que se traduce en un incremento de los costos de ejecución, disminuyendo así la productividad que se puede llegar a tener en cada proyecto. Como una solución a este problema, aparece la metodología de Lean Construction más conocida en nuestro país como: Construcción sin pérdidas; filosofía que tiene sus raíces en la “producción lean”, empleada por el sistema automotriz de Toyota en los años 80, la cual se enfoca en “aumentar el valor del producto a partir de eliminar cualquier tipo de actividad que no agregue valor al cliente, considerado como pérdida” [2]. Lean Construction se orienta en cambiar el pensamiento de las empresas de construcción, promoviendo un mejor sistema de seguimiento, control y planificación de los proyectos, por medio de una serie de herramientas, con el fin de maximizar la productividad minimizando las pérdidas.

Por medio de este trabajo, se busca implementar básicamente dos herramientas con el fin de hacer un seguimiento y control constante de la obra, para evaluar los efectos positivos o negativos de su implementación, y que tan efectivos pueden llegar a ser en la búsqueda de un mejoramiento continuo. La prueba de los 5 minutos se aplicó a dos actividades de obra que se llevaron a cabo durante el periodo de la práctica y que fueron sugeridas por el director de la obra, tomando como base la frecuencia con la que se iban a presentar. La encuesta de

identificación de pérdidas se aplicó al personal encargado de la ejecución de la obra, siguiendo un formato con las principales causas de pérdidas que se presentan en un proyecto de construcción.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Apoyar la Implementación de herramientas o metodologías basadas en la filosofía Lean Construction para el seguimiento y control de los procesos constructivos realizados durante la etapa de ejecución de los proyectos de construcción de la empresa B&A Ingeniería y Construcciones, con el fin de realizar un análisis y evaluación de la aplicación de dichas herramientas.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir las actividades más representativas de acuerdo con el grado de incidencia en los costos de los proyectos ejecutados por la empresa BYA Ingeniería y construcciones.
- Identificar las pérdidas que se presentan en las actividades de obras seleccionadas y realizar un análisis de causa / efecto con el fin de encontrar los principales factores que generan estas pérdidas.
- Aplicar las técnicas, herramientas o metodologías basadas en la filosofía “Lean Construction” con el fin de disminuir las pérdidas detectadas en dichas actividades.
- Analizar y evaluar las herramientas implementadas para llevar a cabo el control y seguimiento de las actividades de obra.

## 2. GENERALIDADES DE LA EMPRESA B&A INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES

B&A INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES SAS es una empresa de construcción de proyectos industriales; ofrecemos a nuestros clientes acompañamientos según sus necesidades, convirtiéndonos de esta manera en su más confiable proveedor de servicio de ingeniería como también en la gerencia y administración de proyectos. Además estructuramos, desarrollamos, gestionamos y promovemos proyectos inmobiliarios.



B&A INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES se caracteriza por:

- Creatividad: encontrar siempre la mejor opción de diseño para su proyecto con un detallado análisis de costo/beneficio.
- Compromiso: calidad y entrega a tiempo de los proyectos.
- Profesionales: su excelente equipo humano comprometido altamente con los objetivos de la empresa.

### 2.1 MISION

Somos una empresa reconocida por la calidad y cumplimiento en nuestros proyectos, consolidando nuestra operación a nivel nacional.

## 2.2 VISION

En el 2022, seremos líderes en el sector de la construcción con un portafolio diversificado, reconocido por la calidad y la entrega a tiempo de nuestros proyectos por el talento humano calificado con que contamos para dar un buen servicio al cliente.

## 2.3 ORGANIGRAMA DE LA EMPRESA



**Figura 1.** Estructura organizacional de la empresa.

Fuente: B&A Ingeniería y construcciones.

## **2.4 SERVICIOS PRESTADOS POR B&A INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES**

### **2.4.1 Administración delegada.**

- Contratamos todas las actividades que se requieran para la ejecución del proyecto
- Ejecutor y Constructor de los proyectos de nuestros clientes.

### **2.4.2 Construcción**

- En modalidad de contratistas construyendo los proyectos definidos por nuestros clientes.
- La modalidad de trabajo puede Ser: precio unitario fijo, precio global y llave en mano.

### **2.4.3 Interventoría de obra:**

- En modalidad de contratistas construyendo los proyectos definidos por nuestros clientes.
- La modalidad de trabajo puede Ser: precio unitario fijo, precio global y llave en mano.

### **2.4.4 Consultoría:**

- Estudios preliminares
- Especificaciones técnicas
- Estudio de propuestas
- Supervisión de obra

### **2.4.5 Gerencia de proyectos:**

Se inicia el acompañamiento con el cliente desde la concepción inicial del proyecto. Participando a partir de:

- Dimensionamiento de áreas

- Apoyo técnico
- Diseños
- Trámites o permisos
- Construcción

#### **2.4.6 Estructurados de proyectos**

Colaboramos a los clientes en la estructuración o planeación de proyectos comerciales, industriales e inmobiliarios, teniendo en cuenta:

- Necesidades del mercado.
- Soluciones favorables desde el punto de vista técnico y económico.
- Elaboración de presupuestos.
- Elaboración de cronogramas de obra.
- Planteamiento del desarrollo del proyecto.

#### **2.4.7 Diseños:**

- Elaboración y coordinación de diseños
- Análisis de lotes
- Análisis de normas
- Diseño arquitectónico / eléctrico / hidrosanitario / voz y datos
- Anteproyectos
- Estudio de suelo.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Durante mi tiempo en B&A INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES participé en la construcción de una planta de beneficio ubicado en el municipio de Cerete, Córdoba. Es un proyecto industrial que consiste en una planta de beneficio para pollo de propiedad de la Empresa Avidesa Mac pollo; cuyo objetivo principal es la construcción y adecuación de la infraestructura que se necesita para el sacrificio y el proceso de producción de más de dieciocho (18) mil aves diarias, que van arribar a esta planta para luego ser distribuidas a las diferentes partes de la región.

El proyecto cuenta con más de quince mil metros cuadrados construidos en planta con un diseño estructural combinado de concreto y perfileria metálica en la mayoría de los casos. Además cuenta con varias obras de urbanización como andenes, vía interna, dos porterías, dos básculas industriales, cafeterías, zonas de baños, instalaciones hidráulicas y sanitarias, pozos de inspección, PTAR, laguna de homogenización, reservorio de agua, pozo séptico, tanque de almacenamiento de sub productos y un poliducto entre otras.

### 3.1 ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO – EN PROCESO DE EJECUCIÓN



*Figura 2. Estado actual del proyecto.  
Fuente: B&A Ingeniería y construcciones.*



*Figura 3. Estado actual del proyecto.  
Fuente: Propia.*

### 3.2 MODELO DEL PROYECTO FINALIZADO



*Figura 4. Proyecto finalizado.*

*Fuente: Tomado de la página web de B&A Ingeniería y construcciones.*

#### 4. ESTADO DEL ARTE

En todos los sistemas de producción existe un porcentaje significativo de pérdidas o desperdicios, y el sector de la construcción no es la excepción. En el año 1993 Claudio Picchi concluyo en su tesis doctoral que un 30% del costo total de la obra es desperdicio, tanto así que, en un proyecto de cuatro torres, la cuarta torre puede salir del desperdicio de las otras tres [4]. Esto hace que la productividad sea menor a la esperada o incluso haya perdidas donde se esperaban ganancias, lo que puede llevar a la liquidación de una empresa, esto debido a la deficiencia en la planificación de los proyectos y la falta de controles, que llevan a índices altos de desperdicio de materiales y tiempo, lo cual se ve reflejado en sobrecostos, retrasos en la programación y bajos niveles de productividad.

En el año de 1992 el profesor Lauri Koskela introduce a la industria de la construcción, la filosofía de "producción Lean", empleada por la industria automovilística de los años 80, que básicamente consiste en reducir o eliminar las actividades que no agreguen valor y optimizar las que si lo hacen [5]. En Colombia hasta el año de 2002 Luis Fernando Botero en compañía de Gescon (Grupo de Investigación en gestión de la construcción, Universidad EAFIT) empezaron a realizar investigaciones basadas en la filosofía de Lean Construction sacando una serie de documentos de apoyo para las empresas y compañías que quieren empezar a implementarlo. En la actualidad esta filosofía está en un constante crecimiento y el 100% de las empresas que implementa Lean Construction en Colombia usan la herramienta LAST PLANNER (ultimo planificador) como mejoramiento de la planificación de obra. Pero no es la única, ya que también existe el Time-Lapse, Layout, la prueba de los cinco (5) minutos o muestreo de trabajo, encuestas de identificación de perdidas, entre otras, que son de gran ayuda dependiendo del sector o la forma que se quiera evaluar. [6]

## 5. MARCO TEÓRICO

### 5.1 LEAN CONSTRUCTION

La construcción sin pérdidas es un enfoque dirigido a la gestión de proyectos de construcción, que ha revolucionado la forma de construir los proyectos y ha traído grandes beneficios a cualquier sector de la industria que la implemente de manera directa o indirecta. Este enfoque minimiza las pérdidas, mediante la utilización de unas técnicas sobre los procesos de construcción en su etapa de desarrollo, para identificar y eliminar las actividades que no contribuyen con el producto final.

Su principio básico es reducir al máximo las pérdidas. Considerando pérdidas todo lo que sea distinto a los recursos mínimos de materiales, equipos y mano de obra necesarios para agregar valor al producto, por ejemplo: esperas por falta de equipos, herramientas, materiales, desplazamientos innecesarios, reprocesos por trabajos mal hechos y que no cumplen las especificaciones, tiempo ocioso por parte de los trabajadores, acumulación de inventario, esperas debido a actividades previas que no se han ejecutado, entre otras. [7]

Para la identificación de pérdidas, la filosofía de lean construction plantea una serie de técnicas, como muestreo de trabajo, carta de balance de cuadrilla y Time Lapse entre otras, que facilitan la detección de las categorías y causas de las pérdidas, con el fin de proceder a tomar decisiones teniendo una información concreta del problema, pero antes hay que tener claro la distribución del trabajo de una actividad de construcción que se clasifica de la siguiente manera:

- **Trabajo productivo:** Es el tiempo empleado por el trabajador en una actividad productiva, que agrega valor.
- **Trabajo contributivo:** Es el tiempo empleado por el trabajador en labores de apoyo necesarias para llevar a cabo actividades productivas.

- **Trabajo no contributivo:** Se considera cualquier otra actividad realizada por los obreros que no agregue valor al producto final, por tanto, se consideran perdidas.

## 5.2 HERRAMIENTAS DE LEAN CONSTRUCTION

Actualmente el enfoque Lean Construction se ha expandido progresivamente y su aplicación se ha extendido a todas las etapas de los proyectos de construcción y a cualquier tipo de proyecto, siendo esencial desde la etapa de la planeación hasta la puesta en marcha del proyecto. Para esto existen las siguientes herramientas, siendo estas las más conocidas o con mejores resultados:

**5.2.1 Muestreo de trabajo.** Consiste en numerosas observaciones de la actividad de los trabajadores a lo largo de la obra en distintos puntos y a distintas horas, con el fin de recopilar información que ayude a detectar problemas que estén afectando la productividad si se usa permanentemente. Este sistema de medición es bastante sencillo en la toma de datos y no se necesita de mucho tiempo para llevar a cabo. La información es recopilada en un formato que consta del tipo de la actividad, el obrero, hora, distribución del tiempo y observaciones. También es conocido como la prueba de los 5 minutos y es necesario que se lleve a cabo a distintas horas del día, aleatoriamente.

**5.2.2 Carta de balance de cuadrilla.** Es una técnica grafica que permite describir de manera detallada el proceso de una operación de construcción, interactuando a los trabajadores, recursos y el medio para determinar si el número de trabajadores por cuadrilla es el indicado. [7]

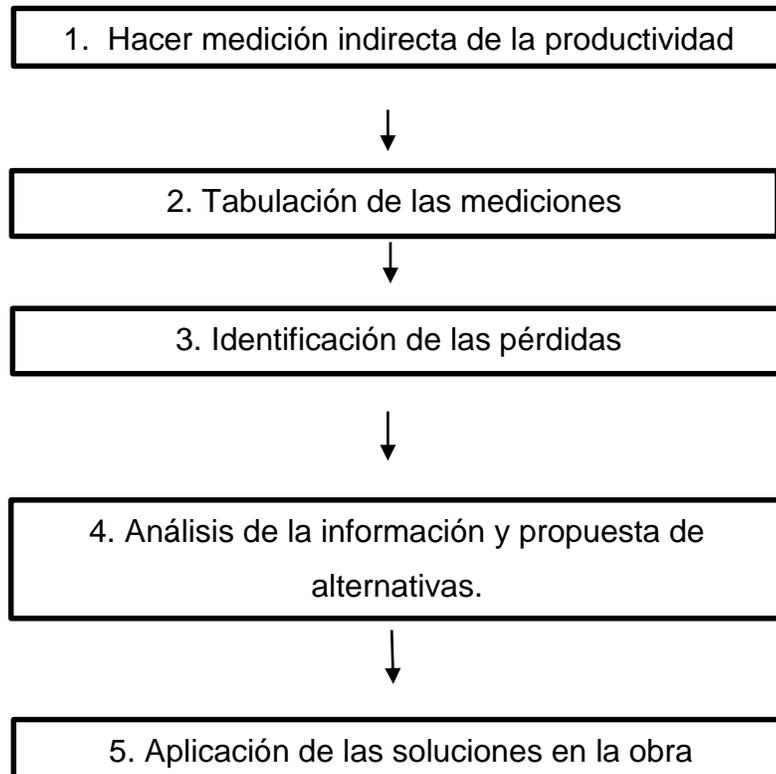
**5.2.3 Time lapse.** Es una herramienta visual que permite reproducir meses de trabajo en tan solo unos minutos de reproducción mediante la toma de material fotográfico a lo largo de una actividad, para esto se escoge un punto estratégico

en donde se observe con claridad todo el proceso y un lapso de tiempo acorde a la duración total de la actividad, con el fin de obtener la mayor cantidad de detalles. [7]

**5.2.4 Last Planner.** Es un sistema de control que mejora el cumplimiento de las actividades y el buen manejo de los recursos en el proyecto, basado en una buena planificación. Previamente se hace un diagnóstico de las actividades que se van a realizar a corto y mediano plazo, y sus posibles restricciones, con el fin de que cuando llegue el momento de ejecutar una actividad, esta se pueda llevar acabo sin ningún problema, eliminando los tiempos de espera, que son considerados como perdidas. [8]

**5.2.5 Encuesta de identificación de pérdidas.** Es un cuestionario diseñado para ser diligenciado por el personal de dirección de obra y permite hacer un análisis para detectar las fuentes y la frecuencia de las perdidas en los procesos constructivos de la construcción. [8]

### 5.3 PLAN PARA MEDICIÓN DE PERDIDAS



*Figura 5. Plan para medición de pérdidas.*

*Fuente: Lean Construction Enterprise*

### 5.4 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

El diagrama Ishikawa o diagrama de espina de pescado (dada su estructura) consiste en una representación gráfica de las causas que generan un problema, siendo una herramienta importante en la gestión de la calidad de un proceso, ya que orienta la toma de decisiones para la solución de un desempeño deficiente. La elaboración del diagrama de Ishikawa es intuitiva, primero se identifica un problema o efecto y luego se nombran posibles causas que explican el porqué del

problema; a su vez cada causa se divide en sub causas, arrojando un nivel de detalle que permite tomar decisiones sobre el fenómeno que explica la existencia del comportamiento no deseado [9]. Una representación gráfica del diagrama de Ishikawa tiene la siguiente forma:

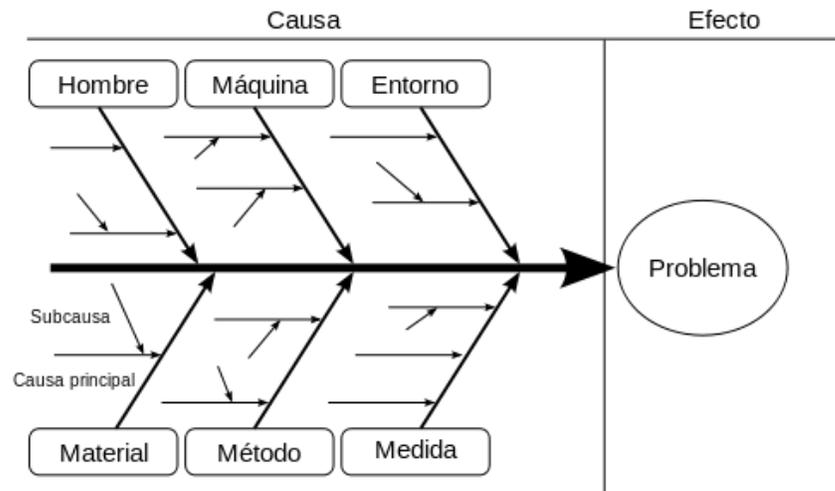


Figura 6. Diagrama de Ishikawa.

Fuente: GEO tutoriales

## 5.5 DIAGRAMA DE PARETO

Es un método gráfico de análisis que permite ordenar la información de mayor a menor, según su grado de importancia, y de esta forma concentrar todos los esfuerzos, en las causas que tendrán mayor representatividad una vez que se hayan resuelto. Una de las características principales de este método es fijar prioridades, mostrando cuales son los problemas críticos a los que se deben dar solución, mostrando un panorama de acción claro y más acertado, ya que permite tomar decisiones basadas en hechos o datos y no en apreciaciones subjetivas. La esencia de este principio, parte de la regla del 80/20, esto quiere decir que en promedio el 20% de las causas genera el 80% de los problemas, siendo estas las causas vitales hacia las que se debe priorizar nuestro trabajo. [10]

## 6. METODOLOGIA

Para llevar a cabo un seguimiento y control basados en la filosofía Lean Construction, se implementaron básicamente dos herramientas, que son: La encuesta de identificación de pérdidas y la prueba de los 5 minutos, que tienen como principal objetivo identificar las fuentes de las pérdidas que se presenten en el proyecto. La prueba de los cinco (5) minutos consiste básicamente en clasificar el tiempo empleado por el trabajador, en la ejecución de cierta actividad durante un periodo de tiempo de 300 segundos, como su nombre lo indica. Con ayuda del director de obra se llegó a la conclusión de que las actividades más viables para realizar el estudio eran: La mampostería y el friso, teniendo en cuenta la programación de la obra; ya que eran los procesos constructivos más frecuentes durante el lapso de tiempo de la práctica para poder realizar una toma de datos constante; De esta manera lo que se busca es tener un mayor impacto en el caso de tener buenos resultados, ya que los desperdicios que estas presenten tienden a tener un mayor impacto económico dentro del proyecto y de alguna manera son las más propensas a tener desviaciones de tiempo y costos. Por otro lado, implementé cuestionarios al personal administrativo encargado de la ejecución de la obra como: Ingenieros, arquitectos, almacenista y maestro; para que hicieran una autoevaluación e identificaran cuales eran las fuentes de pérdidas más frecuentes, con el fin de tomar acciones correctivas para eliminarlas. [2] Cualquier tipo de herramienta de Lean Construction esta soportada en un ciclo que consta de los siguientes pasos:

1. Hacer un diagnóstico sobre las causas de las perdidas.
2. Registrar y tabular la información obtenida en el paso 1.
3. Identificar que tan grande pueden llegar a ser las perdidas.
4. Analizar la información junto con todo el equipo de planeación de obra, con el fin de determinar las estrategias para reducir las pérdidas.

5. Aplicar las estrategias directamente en obra y hacer mediciones para establecer la efectividad de las estrategias y volver a repetir los pasos anteriores hasta obtener la eliminación total de las pérdidas. [7]

Para el análisis de los datos obtenidos en la implementación de la prueba de los 5 minutos, se usó el diagrama de Pareto, en donde se muestra gráficamente los resultados en orden de importancia, que permite saber a simple vista cuáles son las fuentes de pérdidas más críticas, sobre las cuales toca tomar acciones correctivas.

## 7. DESARROLLO DEL PLAN DE TRABAJO

### 7.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA PRUEBA DE LOS CINCO (5) MINUTOS

La metodología planteada inicialmente como criterio de selección de las actividades, basado en un análisis de incidencia de cada una, sobre los costos del proyecto; no se pudo llevar a cabo debido al avance del proyecto en el momento de mi ingreso. Por lo tanto, para su selección, se consultó con el director de obra aquellas que iban a ser más frecuentes durante el transcurso de la práctica y saber así, cuáles eran más factibles para la implementación de esta herramienta, gracias a esto se llegó a la conclusión de que las actividades seleccionadas iban a ser: mampostería y friso. A continuación, se muestra una foto en el momento previo a la observación.



*Figura 7. Proceso constructivo evaluado.*

*Fuente: Propia.*

Para llevar a cabo la recopilación de datos se usó un formato planteado por investigaciones, que permite clasificar el tiempo empleado por un trabajador durante un periodo de observación de cinco minutos, en: tiempo productivo, tiempo contributivo y tiempo no contributivo.

Para la implementación de esta técnica, la toma de datos la hice frecuentemente, todos los días si era posible y a distintas horas del día, evitando los horarios de descanso con el fin de obtener datos variados y más cercanos a la realidad; se realizó con el cronometro del celular y la información se recopiló en el siguiente formato:

FECHA			HORA	
ACTIVIDAD			CARGO	
TIEMPO PRODUCTIVO		Observacion		
TIEMPO CONTRIBUTIVO		Observacion		
TIEMPO NO CONTRIBUTIVO		Observacion		
COMENTARIOS				

Figura 8. Formato prueba 5 minutos.

Fuente: Lean Construction Enterprise.

## ANALISIS DE RESULTADOS

El muestreo de trabajo es un herramienta de observación muy sencilla de usar, que no requiere de mucho tiempo, y es de gran ayuda para el seguimiento y control de las actividades de una obra; pero es indispensable que quien haga la toma de datos sea un persona capacitada y que tenga claro el proceso constructivo que está evaluando, ya que se puede llegar a cometer errores en la clasificación, trayendo como consecuencia datos infructuosos; como los que yo cometí al inicio, por ejemplo: cuando estaba evaluando el proceso constructivo del friso, inicialmente considere la actividad de pasar la llana como un tiempo contributivo, pero luego me di cuenta que es una actividad que le da valor al producto final, ya que le da el acabado final a la superficie, convirtiéndose en un tiempo productivo; y así con otras actividades que con el tiempo fui aclarando y modificado con ayuda de los Ingenieros y el personal de la obra. Esta observación la aplique 69 veces a lo largo de dos meses, repartidos entre las dos actividades, y en la mayoría de los casos el trabajador que se evaluó desempeñaba el cargo de oficial, ya que los ayudantes en un proceso constructivo poco trabajo productivo hacen; luego de este tiempo procedí a la tabulación y análisis de los

datos mediante el diagrama de Pareto y diagrama de Ishikawa. Para el objeto de análisis solamente se tuvieron en cuenta el tiempo contributivo y no contributivo ya que son los que afectan la productividad del proyecto.

**7.1.1 Clasificación general del tiempo.** El primer resultado de la prueba de los 5 minutos, es una visión general de cómo se está usando el tiempo en la obra y es de vital importancia analizarla. Por medio de esta herramienta se obtiene la clasificación del tiempo empleado por los trabajadores en la ejecución de sus actividades diarias, como muestra la siguiente gráfica:



*Figura 9. Clasificación del tiempo.*

*Fuente: Propia.*

Como se observar en la **Figura 9**, el tiempo no contributivo considerado como perdida tiene un porcentaje del 25%, lo que significa que la cuarta parte del tiempo, el trabajador no está realizando ninguna actividad productiva, esto traducido en una jornada laboral significa dos de las ocho horas (sacando los descansos). Lo anterior trae consecuencias negativas para los costos del proyecto, ya que estos son directamente proporcionales al tiempo empleado para

la ejecución, debido a los costos administrativos que produce una obra. En otras palabras, si se tuviera un sistema de mejoramiento continuo para reducir al máximo estos tiempos, el costo administrativo del proyecto puede llegar a costar una cuarta parte menos de lo que ha costado, esto sin tener en cuenta la reducción que se puede obtener con este sistema en el tiempo contributivo, que es de un 33% del tiempo total.

**7.1.2 Categorización de tiempo contributivo.** El tiempo contributivo no es considerado como perdida, ya que es un tiempo usado por el trabajador en labores de apoyo necesarias para llevar a cabo una actividad productiva, pero en muchos casos estas labores de apoyo se incrementan debido a una mala planificación de factores claves como: el tiempo, espacio, herramientas, equipos, maquinaria, mano de obra y materiales, entre otros. Es por esto que también es importante hacer un análisis de sus principales causas, con el fin de hacer planes de acción que reduzcan al mínimo estos tiempos.

### **Tabulación del tiempo contributivo**

En las siguientes tablas se puede observar la tabulación y clasificación por categorías, de los datos que se recopilaron mediante la herramienta del muestreo de trabajo, estas categorías fueron sacadas del libro “Construcción sin perdidas” (Botero, 2006).

**Tabla 1.** Tabulación por categorías del tiempo contributivo.

PRUEBA	TIEMPO TOTAL	ESPERA	TIEMPO OSCIOSO	DESPLAZAMIENTOS	DESCANSO	NECESIDADES FISIOLÓGICAS	REPROCESOS	TRANSPORTE
1	218	218						
2	170		103		67			
3	67				67			
4	58	58						
5	200		20	180				
6	253			253				
7	123	123						
8	60	60						
9	132				132			
10	142	142						
11	145	30			115			
12	13	13						
13	90	90						
14	120							120
15	35				10			25
16	88	50			38			
17	30				30			
18	30				30			
19	98	65			33			
20	99		68		31			
21	120	120						
22	100	100						
23	47	47						
24	21					21		
25	140	140						
26	21	21						
27	275	275						
28	21				16	5		
29	80	80						
30	86	86						
31	34		34					
32	90	90						
33	12				12			
34	20		20					
35	170		36		140			
36	300						300	
37	104	104						
38	198		128		70			
39	20	20						
40	142	69			20	53		
41	45		45					
42	42	42						
43	20				20			
44	225		40		185			
45	34	34						
46	40		40					
47	57				57			
48	71	41			30			
49	45			45				
50	167	167						
51	17		11		6			
52	34		12		22			
<b>TOTAL</b>	<b>4969</b>	<b>2285</b>	<b>557</b>	<b>478</b>	<b>1131</b>	<b>79</b>	<b>300</b>	<b>145</b>
<b>PORCENTAJE</b>		<b>46%</b>	<b>11%</b>	<b>10%</b>	<b>23%</b>	<b>2%</b>	<b>6%</b>	<b>3%</b>
<b>PORCENTAJE ACUMULADO</b>		<b>46%</b>	<b>57%</b>	<b>67%</b>	<b>90%</b>	<b>91%</b>	<b>97%</b>	<b>100%</b>

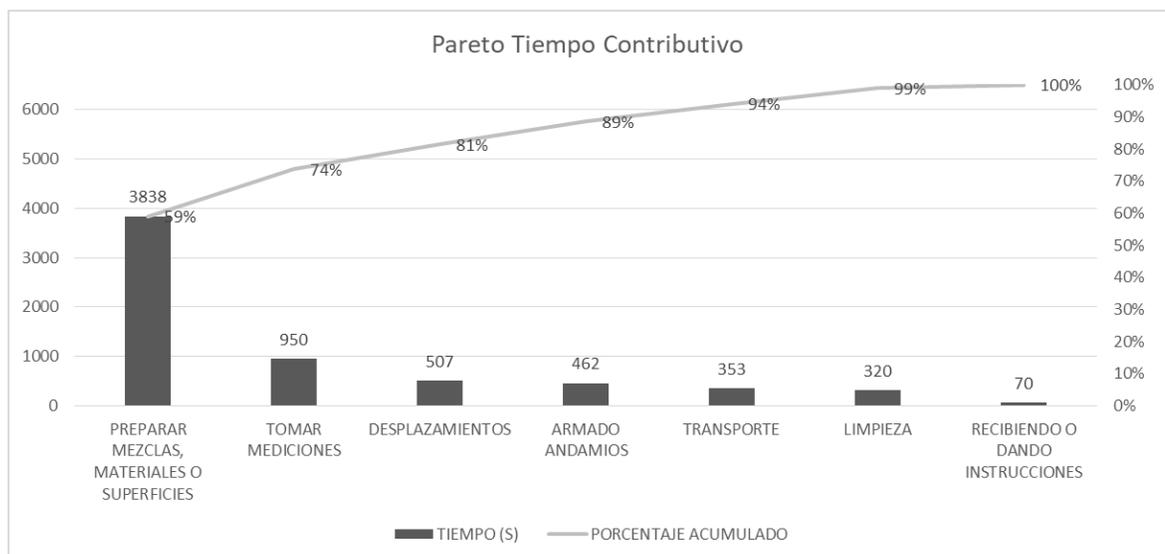
Fuente: Propia.

Tabla 2. Resumen por categorías del tiempo contributivo.

TABLA CATEGORIAS T.C			
CLASIFICACION DE LA ACTIVIDAD	TIEMPO (S)	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE
PREPARAR MEZCLAS, MATERIALES O SUPERFICIES	3838	59%	59%
TOMAR MEDICIONES	950	74%	15%
DESPLAZAMIENTOS	507	81%	8%
ARMADO ANDAMIOS	462	89%	7%
TRANSPORTE	353	94%	5%
LIMPIEZA	320	99%	5%
RECIBIENDO O DANDO INSTRUCCIONES	70	100%	1%

Fuente: Propia.

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Tabla 2, se elaboró el diagrama de Pareto que se muestra a continuación, en donde se muestra en orden de importancia las categorías del tiempo contributivo y brinda una línea de acción, priorizando aquellas que tienen mayor impacto en el incremento del tiempo contributivo.



*Figura 10. Categorías de tiempo contributivo.*

*Fuente: Propia.*

encontrado durante los dos meses en los que se aplicó la herramienta. Pudo observarse que la preparación de mezclas, materiales o superficies, representa un porcentaje del 59% del trabajo contributivo; que junto a la toma de mediciones suman la tercera parte del trabajo contributivo, tanto para la actividad de mampostería, como para friso. Aunque no es posible eliminarlo completamente, su disminución incrementaría un porcentaje significativo del trabajo productivo.

Según lo observado durante estos meses, una de las principales causas de que el tiempo destinado para esta actividad sea tan alta, es la mala organización de los integrantes de la cuadrilla, ya que muchas veces mientras el oficial este realizando la actividad, el ayudante descansa, y mientras el ayudante prepara la mezcla y los materiales, el oficial no tiene como trabajar. En otros casos la ausencia del ayudante es otra de las causas de este problema y hace que el oficial gaste tiempo haciendo labores propias de un ayudante, lo cual tiene efectos negativos en la productividad del trabajador.

**7.1.3 Categorización del tiempo no contributivo.** El tiempo no contributivo es usado en actividades que no generan valor al producto final, y por lo tanto es considerado como pérdida.

Es por esto que es importante hacer un análisis de sus categorías, causas y efectos, con el fin de tener la información necesaria para aplicar estrategias que permitan reducir las pérdidas. Estos trabajos no contributivos son la razón principal de la existencia de herramientas de seguimiento y control, ya que dan un diagnóstico que permite tomar medidas para la reducción de estos tiempos.

### **Tabulación del tiempo no contributivo**

En la siguiente tabla se observa la organización de los datos obtenidos, en las categorías más comunes del tiempo no contributivo.

**Tabla 3.** Tabulación por categorías del tiempo no contributivo.

PRUEBA	TIEMPO TOTAL	ESPERA	TIEMPO OSCIOSO	DESPLAZAMIENTOS	DESCANSO	NECESIDADES FISIOLÓGICAS	REPROCESOS	TRANSPORTE
1	218	218						
2	170		103		67			
3	67				67			
4	58	58						
5	200		20	180				
6	253			253				
7	123	123						
8	60	60						
9	132				132			
10	142	142						
11	145	30			115			
12	13	13						
13	90	90						
14	120							120
15	35				10			25
16	88	50			38			
17	30				30			
18	30				30			
19	98	65			33			
20	99		68		31			
21	120	120						
22	100	100						
23	47	47						
24	21					21		
25	140	140						
26	21	21						
27	275	275						
28	21				16	5		
29	80	80						
30	86	86						
31	34		34					
32	90	90						
33	12				12			
34	20		20					
35	170		36		140			
36	300						300	
37	104	104						
38	198		128		70			
39	20	20						
40	142	69			20	53		
41	45		45					
42	42	42						
43	20				20			
44	225		40		185			
45	34	34						
46	40		40					
47	57				57			
48	71	41			30			
49	45			45				
50	167	167						
51	17		11		6			
52	34		12		22			
<b>TOTAL</b>	<b>4969</b>	<b>2285</b>	<b>557</b>	<b>478</b>	<b>1131</b>	<b>79</b>	<b>300</b>	<b>145</b>
<b>PORCENTAJE</b>		<b>46%</b>	<b>11%</b>	<b>10%</b>	<b>23%</b>	<b>2%</b>	<b>6%</b>	<b>3%</b>

Fuente: Propia.

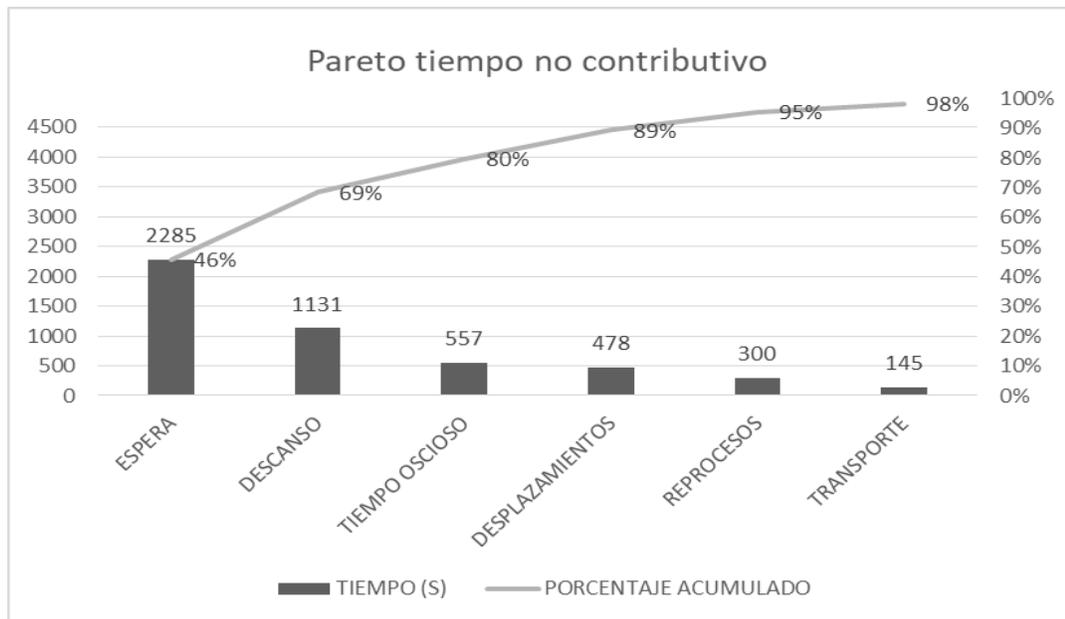
**Tabla 4.** Resumen por categorías del tiempo no contributivo.

TABLA CATEGORIAS T.N.C			
CLASIFICACION DE LA ACTIVIDAD	TIEMPO (S)	PORCENTAJE ACUMULADO	PORCENTAJE
ESPERA	2285	46%	46%
DESCANSO	1131	69%	23%
TIEMPO OSCIOSO	557	80%	11%
DESPLAZAMIENTOS	478	89%	10%
REPROCESOS	300	95%	6%
TRANSPORTE	145	98%	3%
NECESIDADES FISIOLÓGICAS	79	100%	2%

Fuente: Propia.

De la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se hace un resumen con el fin de organizar la información, según las categorías y los tiempos totales de cada una de ellas, como se ve a continuación:

La **Tabla 4**, es la base para elaborar el diagrama de Pareto que se muestra a continuación, en donde se clasifica en orden de importancia las categorías del tiempo no contributivo.



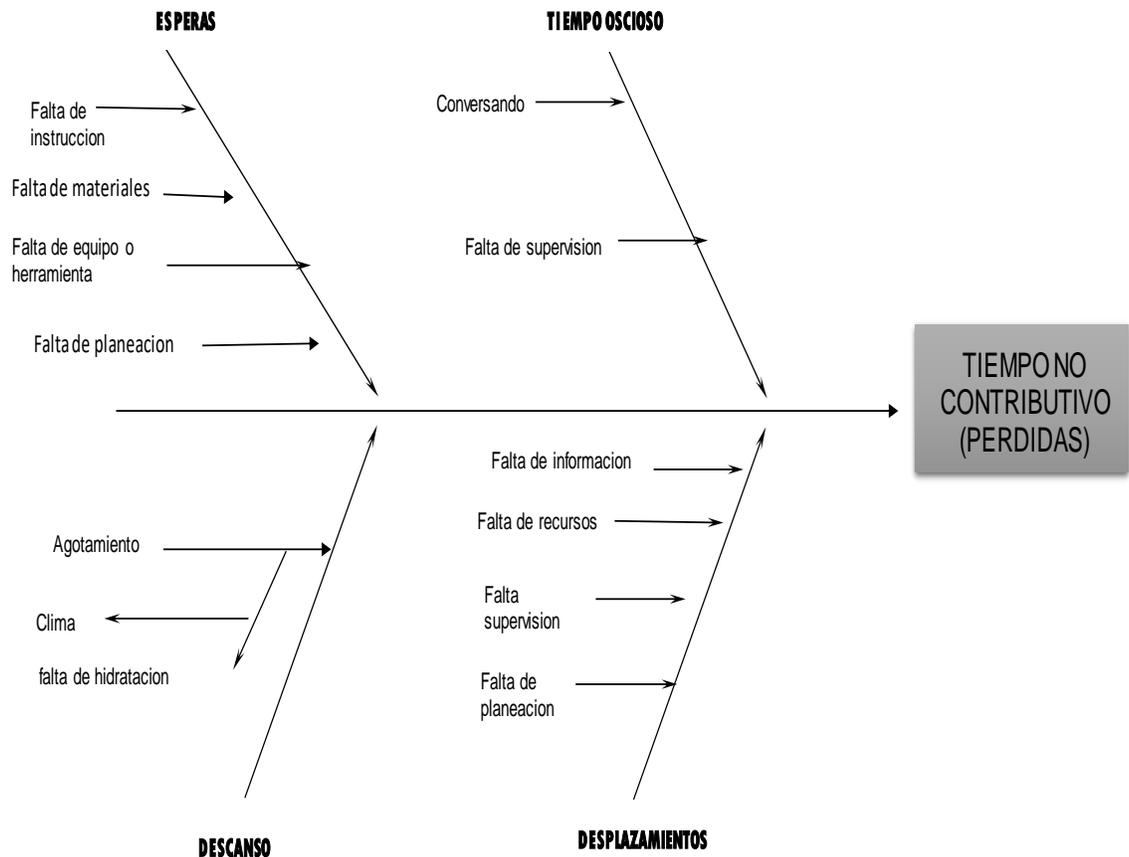
**Figura 11.** Categorías de tiempo no contributivo.

*Fuente: Propia.*

La **Figura 11** muestra las principales categorías que explican el tiempo no contributivo en la obra. Las esperas, descansos, tiempo ocioso y desplazamientos representan el 89% de la aparición del tiempo no contributivo. Por otra parte, aparecen valores no tan representativos como los mencionados, pero que también deben ser tenidos en cuenta como oportunidades de mejoramiento, son los reprocesos y transportes.

Las principales causas de las categorías más representativas del tiempo no contributivo, se muestran a continuación en un diagrama de causa y efecto, soportado en los datos obtenidos y en las observaciones.

## Diagrama de Ishikawa



**Figura 12.** Análisis de causa y efecto.

Fuente: G.E.O

La **Figura 12** muestra que la falta de supervisión y planeación por parte del personal administrativo de la obra, y los contratistas, es una causa que está presente en tres de las cuatro categorías principales que son: esperas, desplazamientos y tiempo ocioso. Muchas veces, la misma falta de planeación en la obra, provoca la falta de equipos, herramientas, materiales e instrucciones, en el lugar y momento adecuado.

Por otra parte, el tiempo empleado en descansos se sale de las manos, debido a las condiciones climáticas de la región, como la temperatura, que oscila entre los 30° y 37° provocando condiciones de agotamiento y deshidratación, entre otras; afectando directamente la productividad del trabajador.

## **7.2 Implementación encuesta de identificación de pérdidas**

Por otro lado, implementé encuestas al personal encargado de la ejecución del proyecto: Ingenieros, arquitectos, almacenista y maestro; para que identificaran cuales eran las principales causas de las pérdidas que se presentan en el proyecto. El formato para el cuestionario se obtuvo del libro: Construcción sin perdidas, escrito por Luis Fernando Botero, que contiene las fuentes de pérdidas más comunes en sector de la construcción.

Marque con un X la frecuencia con las que se presentan las siguientes pérdidas.				
Fuentes de perdidas	Frecuente	Ocasional	Rara vez	Nunca
<b>ADMINISTRACION</b>				
Requerimientos innecesarios				
Exceso de control				
Falta de control				
Mala planificacion				
<b>RECURSOS</b>				
Exceso de cantidad				
Falta de cantidad				
Mal uso				
Mala distribucion				
Mala calidad				
Disponibilidad				
<b>INFORMACION</b>				
No necesaria				
Defectuosa				
Inoportuna				
Poco clara				

**Figura 13.** Encuesta de identificación de pérdidas.

Fuente: Construcción sin pérdidas 2da edición.

Marque con una X las 5 pérdidas mas frecuentes durante la semana	
1. Trabajo sin hacer	
2. Reprocesos	
3. Trabajo innecesario	
4. Errores	
5. Detenciones	
6. Perdidas de materiales	
7. Deterioro de materiales	
8. Mov. Inecesarios de gente	
9. Mov. Inecesarios de material	
10. Exceso de vigilancia	
11. Supervision extra	
12. Retraso de actividades	
13. Procedimiento extra	
14. Necesidad de aclaraciones	
15. Desgaste anormal de equipos	

**Figura 14.** Encuesta de identificación de pérdidas.

Fuente: Construcción sin pérdidas 2da edición.

La encuesta se implementó a un total de 8 personas, todas de personal administrativo y se tabularon como se muestra en la siguiente

**Tabla 5.**

**Tabla 5.** Tabulación de identificación de pérdidas.

Perdidas	Menciones	Total	Porcentaje
1. Trabajo sin hacer	5	8	62.5%
2. Reprocesos	7	8	87.5%
3. Trabajo innecesario	0	8	0.0%
4. Errores	4	8	50.0%
5. Detenciones	2	8	25.0%
6. Perdidas de materiales	0	8	0.0%
7. Deterioro de materiales	1	8	12.5%
8. Mov. Inecesarios de gente	1	8	12.5%
9. Mov. Inecesarios de material	3	8	37.5%
10. Exceso de vigilancia	0	8	0.0%
11. Supervision extra	1	8	12.5%
12. Retraso de actividades	5	8	62.5%
13. Procedimiento extra	3	8	37.5%
14. Necesidad de aclaraciones	7	8	87.5%
15. Desgaste anormal de equipos	1	8	12.5%

Fuente: Propia

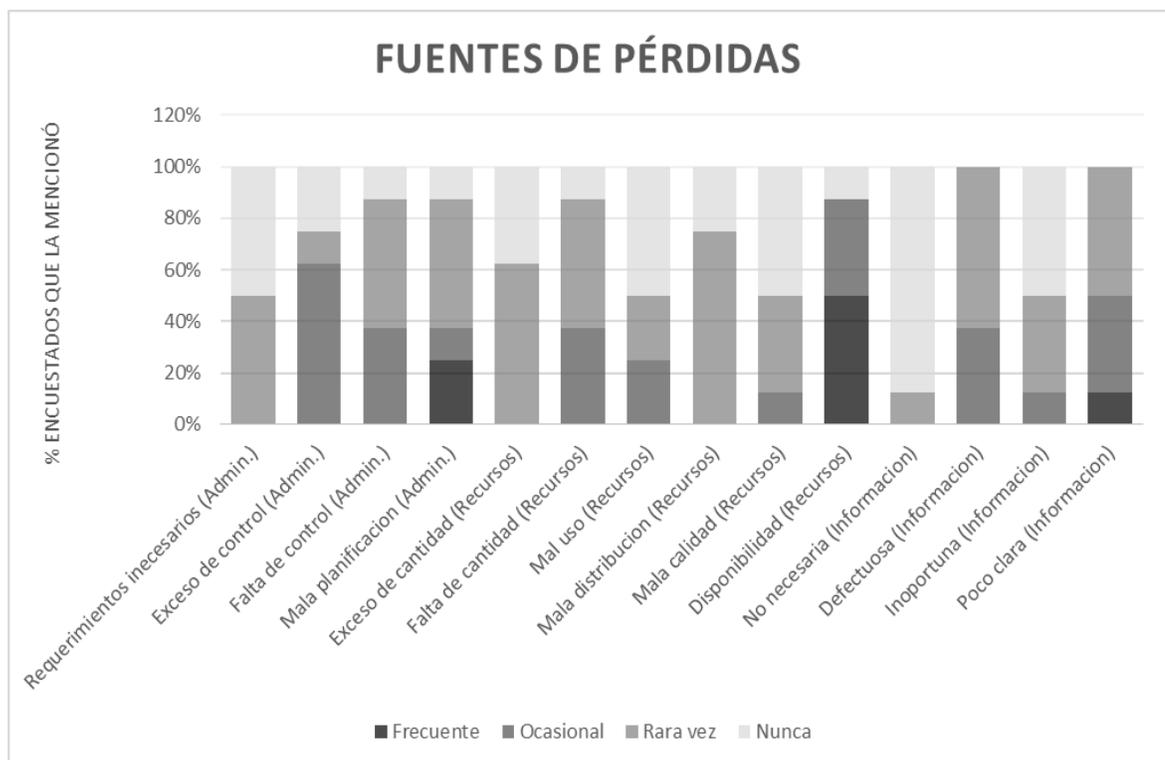
**Tabla 6.** Tabulación de identificación de pérdidas.

TABULACION ENCUESTA DE IDENTIFICACION DE PERDIDAS					
Fuentes de perdidas	Frecuente	Ocasional	Rara vez	Nunca	Total
<b>ADMINISTRACION</b>					
Requerimientos innecesarios (Admin.)			4	4	8
Exceso de control (Admin.)		5	1	2	8
Falta de control (Admin.)		3	4	1	8
Mala planificacion (Admin.)	2	1	4	1	8
<b>RECURSOS</b>					
Exceso de cantidad (Recursos)			5	3	8
Falta de cantidad (Recursos)		3	4	1	8
Mal uso (Recursos)		2	2	4	8
Mala distribucion (Recursos)			6	2	8
Mala calidad (Recursos)		1	3	4	8
Disponibilidad (Recursos)	4	3		1	8
<b>INFORMACION</b>					
No necesaria (Informacion)			1	7	8
Defectuosa (Informacion)		3	5		8
Inoportuna (Informacion)		1	3	4	8
Poco clara	1	3	4		8

Fuente: Propia.

Como podemos ver, la encuesta cuenta con dos secciones de preguntas. La primera hace referencia a unas causas, clasificadas en factores claves para la ejecucion de la obra, que son: administracion, recursos e informacion.

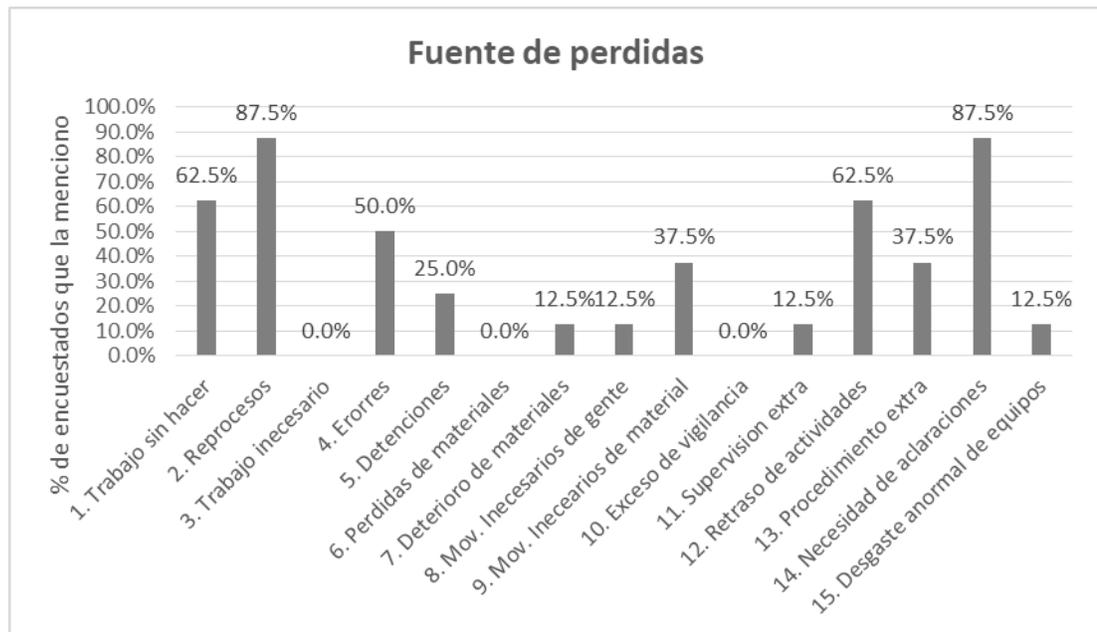
La **Figura 15**, muestra que la disponibilidad de recursos, es la causa mas frecuente, siendo evaluada por el 50% de los encuestados como frecuente, y el 37.5% como ocasional. Otra de los puntos importantes, es que tanto la informacion poco clara como defectuosa, fue mencionada por el 100% de los encuestados, lo que significa que es importante analizar por que la informacion no está llegando como debe ser.



**Figura 15.** Diagrama fuentes de pérdidas más frecuentes.

Fuente: Propia.

La segunda parte de la encuesta se basa en que cada persona debía nombrar las cinco (5) causas de perdidas más frecuentes en la obra según su punto de vista. El resultado se muestra en la siguiente gráfica.



**Figura 16.** Diagrama fuentes de pérdidas más frecuentes.

Fuente: Propia.

La

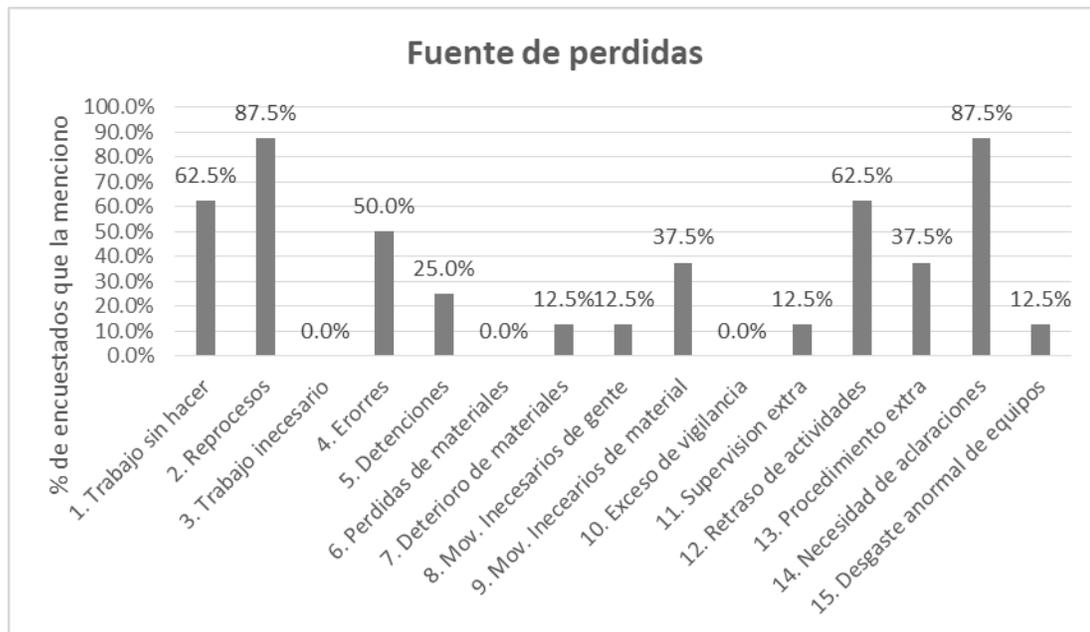


Figura 16, muestra que las dos causas de pérdidas más comunes en la obra con un 87.5% de menciones, son los reprocesos y la necesidad de aclaraciones, que en otras palabras es la ausencia de información clara; las cuales necesitan ser prioritarias a la hora de entrar en un análisis con el equipo de planeación de la obra para mirar en que se está fallando y corregirlo. No menos importante están los trabajos sin hacer, retraso de actividades y errores; todas con un 50% o más, lo cual indica que también requiere atención por parte del equipo de planeación.

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La prueba de los cinco (5) minutos es una herramienta que debe implementar una persona que conozca los procesos constructivos de las actividades, para que la clasificación de los tiempos sea la correcta y se pueda detectar las verdaderas causas de los tiempos no contributivos que son los considerados como pérdidas.
- La encuesta de identificación de pérdidas es una herramienta muy sencilla y bastante provechosa, ya que permite que cada integrante del grupo de trabajo

haga una evaluación objetiva tanto del trabajo individual como colectivo, y se detecten situaciones erróneas que se pueden prevenir fácilmente, pero que no se previenen por el simple hecho de que no se conocen.

- Las herramientas implementadas mostraron ser efectivas a la hora de detectar las fuentes de pérdidas más frecuentes de la obra, mostrando una ruta crítica de acontecimientos con gran impacto en la existencia de pérdidas; siendo este el primer paso, y el más importante en la búsqueda de un mejoramiento continuo.
- El muestreo de trabajo realizado es una prueba bastante limitada con respecto a la cantidad de trabajadores que uno pueda observar al mismo tiempo, al intentar ver dos trabajadores es muy complicado llevar el registro de los tiempos y es probable que la clasificación de los tiempos no sea la adecuada y la prueba pierda confiabilidad.
- La herramienta de la prueba de los cinco (5) minutos, permite identificar las causas de las pérdidas que se presentan en la ejecución de una actividad específica; por lo tanto una actividad que presente serios problemas de rendimiento y/o desperdicios, es un objeto de análisis ideal para esta herramienta; de lo contrario, no es muy efectiva para identificar fuentes significantes de pérdidas que presente un proyecto, y por lo tanto no es una herramienta que garantice la obtención de resultados positivos en la productividad de un proyecto, para todos los casos.

### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Prestan Serrano Carlos Javier. (2018, febrero 28). *Análisis del Sector de la Construcción en Colombia*. Recuperado de: <https://www.gestiopolis.com/analisis-del-sector-la-construccion-colombia/>

[2] Luengas, C. A. (2011). Implementación y seguimiento de la metodología Lean Construction a las actividades constructivas de la obra Metropolitan Business Park en la empresa Marval S.A( Tesis para optar al título de Magister en ingeniería

industrial). Repositorio institucional UPB. ([http://hdl.handle.net/20.500.1 ...](http://hdl.handle.net/20.500.1...))

[3] B&A Ingeniería y construcciones [En línea]. Disponible:

<https://www.bya-ingenieria.com/web/Quienes.php>

[4] García, O. A. (2012). Aplicación de la metodología lean construction en la vivienda de interés social (tesis para especialización en Gerencia de proyectos)

Repositorio institucional EAN.

(<https://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/2417/GarciaOswaldo2012.pdf>)

[5] Corredor G. O. y Rojano A. L. (2009). Lean Construction aplicada a proyectos de construcción de edificaciones de vivienda unifamiliar (tesis para optar al título de especialización en Gerencia e Interventoría de obras civiles) Repositorio institucional UPB ([http://hdl.handle.net/20.500.1 ...](http://hdl.handle.net/20.500.1...))

[6] Botero, L. F. (s. f.). Diez años de implementación lean en Colombia: Logros y dificultades. Recuperado de

[http://www.colmayor.edu.co/archivos/luis\\_fernando\\_botero\\_botero\\_cdwuy.pdf](http://www.colmayor.edu.co/archivos/luis_fernando_botero_botero_cdwuy.pdf)

[7] Botero, L. F. (2002). Construcción sin pérdidas, análisis de procesos y filosofía Lean Construction (2ª ed.). Legis Editores S.A.

[8] L.C.E. (s. f.) Lean Construction. Recuerdo de <http://www.leanconstructionenterprise.com>

[9] G.E.O. (3 de Marzo de 2017). Que es el diagrama de Ishikawa o el diagrama de causa efecto [Mensaje en un blog]. Recuperado de

<https://www.gestiondeoperaciones.net/gestion-de-calidad/que-es-el-diagrama-de-ishikawa-o-diagrama-de-causa-efecto/>

[10] Ministerio de la protección social. (2006). Diagrama de Pareto. Recuperado de

<http://mps1.minproteccionsocial.gov.co/evtmedica/linea%204/2.3diagrama.html>

[11] Alvarez, M. E. (2007). Lean data. Aplicación de Lean Construction en la toma de datos, 43(148), 62-77.

[12] Botero, L. F. y Álvarez M. E. (2004). Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda. Lean Construction como estrategia de mejoramiento. 40(136), 50-64.

[13] Botero, L. F. y Álvarez M. E. (2005). Last planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción estudio del caso de la ciudad de medellin. Ingeniería y Desarrollo. (17), 148-159.