

**IDENTIFICACION Y ANALISIS DE LOS FACTORES CAUSANTES DE
PÉRDIDAS EN OBRA EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE COLUMNAS EN
CONCRETO**

CARLOS FERNANDO HERRERA DIAZ

DIRECTOR

ING. LEONARDO BARON PAEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO

BUCARAMANGA

2021

**IDENTIFICACION Y ANALISIS DE LOS FACTORES CAUSANTES DE
PÉRDIDAS EN OBRA EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE COLUMNAS EN
CONCRETO.**

Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Civil

CARLOS FERNANDO HERRERA DIAZ

DIRECTOR

ING. LEONARDO BARON PAEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍAS Y ADMINISTRACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

COMITÉ DE TRABAJOS DE GRADO

BUCARAMANGA

2021

CONTENIDO

Introducción	14
1. Formulación del problema.....	16
2. Objetivos.....	19
2.1. Objetivo general	19
2.2. Objetivos específicos.....	19
3. Justificación	20
4. Alcance	23
5. Estado del arte	25
5.1. Mediciones en obra.....	26
5.2. Lean construction	27
5.3. Clasificación de las causas de pérdidas en la construcción	30
5.3.1. Causas controlables	30
5.3.2. Causas no controlables	31
6. Metodología.....	32
7. Desarrollo del contenido.....	33
7.1. Caracterización del proceso de construcción de columnas en concreto	33
7.2. Riesgos y pérdidas en el proceso constructivo de columna de concreto	42
7.3. Pérdidas en las fases de construcción de la columna de concreto	47
7.3.1. Lectura de planos.....	48
7.3.2. Cimbrada de la columna	50
7.3.3. Armado de refuerzo	50

7.3.4. Ubicación de formaleta.....	51
7.3.5. Vertido de concreto	53
7.3.6. Retiro de formaleta	53
7.3.7. Fraguado	54
7.3.8. Análisis	54
7.3.9. Análisis del Investigador	55
7.4. Análisis de actividades en proceso constructivo de columna de concreto	56
7.4.1. Generalidades	56
7.4.2. PDT Lectura de planos	56
7.4.2.1 Ubicación de los planos.....	57
7.4.2.2 Desplazamientos lecturas de planos	59
7.4.2.3 Impresión de planos	60
7.4.2.4 Interpretación de planos	61
7.4.2.5 Desarrollo de actividades	62
7.4.2.6 Relectura de planos	62
7.4.3. PDT Cimbrada de columna	62
7.4.3.1 Verificación de ejes.....	63
7.4.3.2 Toma de medidas	64
7.4.3.3 Trazado de líneas guías	65
7.4.4. PDT Armado de refuerzo	66
7.4.4.1 Verificación de varillas empotradas.....	67
7.4.4.2 Transporte de estribos a la obra.....	68
7.4.4.3 Verificación de planos para definir número de refuerzos	69

7.4.4.4	Instalación de estribos y ganchos de refuerzo	69
7.4.4.5	Instalación de planchones de madera	71
7.4.4.6	Verificación de los plomos.....	71
7.4.4.7	Traslado de varillas verticales para la siguiente columna.....	72
7.4.4.8	Retiro de los planchones de madera.....	73
7.4.4.9	Aplicación soldadura en las uniones	74
7.4.5.	PDT Ubicación de formaleta	75
7.4.5.1	Adquisición formaleta, bocel triangular y masilla	76
7.4.5.2	Armado piezas en L y traslado sitio trabajo.....	77
7.4.5.3	Engrasado con ACPM.....	77
7.4.5.4	Levantamiento de la formaleta y ubicación en la cimbra.....	78
7.4.5.5	Form clamps e inserción en formaleta	79
7.4.5.6	Unión de las L y retiro de residuos de la formaleta	79
7.4.5.7	Verificación de plomos	80
7.4.6.	PDT Vertido de concreto.....	80
7.4.6.1	Ubicación de planchones de madera	81
7.4.6.2	Ubicación mezcladora concreto	81
7.4.6.3	Transporte de concreto	82
7.4.6.4	Adquisición y ubicación de lámina metálica.....	83
7.4.6.5	Vertido de concreto	84
7.4.6.6	Golpes en la formaleta en la parte inferior.....	85
7.4.6.7	Retiro de aire de concreto con vibrador	86
7.4.7.	PDT Retiro de formaleta.....	86

7.4.8. PDT Fraguado.....	87
7.4.9. Análisis del Investigador	88
7.5. Propuesta para minimizar pérdidas/desperdicios	88
7.5.1. Creación de centro de acopio.....	88
7.5.2. Revisión de planos de construcción.....	90
7.5.3. Creación cultura de orden y aseo en la construcción.....	91
7.5.4. Análisis del Investigador	92
7.6. Propuesta Lean Construction.....	93
7.6.1. Generalidades	93
7.6.2. Planeación diaria y semanal de la ejecución de la obra.....	93
7.6.3. Análisis del Investigador	98
8. Conclusiones.....	100
9. Enlaces y referencias bibliográficas	102

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Detalle de Insumo -----	37
Tabla 2. Factores causantes de pérdidas en la construcción de columna de concreto -----	45
Tabla 3. Elementos en el proceso constructivo de columna de concreto y sus pérdidas ----	46
Tabla 4. Pérdidas en el armado de refuerzos -----	51
Tabla 5. Trabajo no contributivo en la ubicación de planos para la construcción de columna de concreto -----	57
Tabla 6. Trabajo contributivo y productivo en la ubicación de planos para la construcción de columna de concreto -----	58
Tabla 7. Trabajo no contributivo en el desplazamiento para lecturas de planos para la construcción de columna de concreto -----	59
Tabla 8. Trabajo contributivo y productivo en el desplazamiento para lectura de planos para la construcción de columna de concreto -----	59
Tabla 9. Trabajo no contributivo en la impresión de planos para la construcción de columna de concreto -----	60
Tabla 10. Trabajo contributivo y productivo en la impresión de planos para la construcción de columna de concreto -----	60
Tabla 11. Trabajo no contributivo en la interpretación de planos para la construcción de columna de concreto -----	61
Tabla 12. Trabajo contributivo y productivo en la interpretación de planos para la construcción de columna de concreto -----	61
Tabla 13. Trabajo no contributivo en la verificación de ejes para la construcción de columna de concreto -----	63

Tabla 14. Trabajo contributivo y productivo en la verificación de ejes para la construcción de columna de concreto -----	64
Tabla 15. Trabajo no contributivo en la toma de medidas para cimbrada de la columna de concreto -----	64
Tabla 16. Trabajo contributivo y productivo en la toma de medidas para cimbrada de la columna de concreto-----	65
Tabla 17. Trabajo no contributivo en el trazado de líneas guías para la columna de concreto -----	65
Tabla 18. Trabajo contributivo y productivo en el trazado de líneas guías para la columna de concreto-----	66
Tabla 19. Trabajo no contributivo en la verificación de las varillas empotradas-----	67
Tabla 20. Trabajo contributivo y productivo en la verificación de varillas empotradas-----	67
Tabla 21. Trabajo no contributivo en transporte de estribos -----	68
Tabla 22. Trabajo contributivo y productivo en el transporte de estribos -----	68
Tabla 23. Trabajo no contributivo en verificación de planos para definir número de refuerzos-----	69
Tabla 24. Trabajo contributivo y productivo en verificación de planos para definir número de refuerzos -----	69
Tabla 25. Trabajo no contributivo en instalación de estribos y ganchos de refuerzo -----	70
Tabla 26. Trabajo contributivo y productivo en instalación de estribos y ganchos de refuerzo-----	70
Tabla 27. Trabajo no contributivo en la instalación de planchones de madera -----	71
Tabla 28. Trabajo contributivo y productivo en instalación de planchones-----	71

Tabla 29. Trabajo no contributivo en verificación de los plomos -----	71
Tabla 30. Trabajo contributivo y productivo en verificación de plomos -----	72
Tabla 31. Trabajo no contributivo en traslado de varillas -----	72
Tabla 32. Trabajo contributivo y productivo en traslado de varillas -----	73
Tabla 33. Trabajo no contributivo en retiro de planchones de madera -----	73
Tabla 34. Trabajo contributivo y productivo en retiro de planchones -----	74
Tabla 35. Trabajo no contributivo en aplicación de soldaduras en uniones-----	74
Tabla 36. Trabajo contributivo y productivo en aplicación de soldaduras en uniones -----	75
Tabla 37. Trabajo no contributivo en adquisición de insumos formaleta -----	76
Tabla 38. Trabajo contributivo y productivo en adquisición de insumos formaleta -----	76
Tabla 39. Trabajo no contributivo en armado piezas en L y traslado sitio trabajo-----	77
Tabla 40. Trabajo contributivo y productivo en armado piezas en L y traslado sitio trabajo -----	77
Tabla 41. Trabajo no contributivo en engrasado con ACPM -----	77
Tabla 42. Trabajo contributivo y productivo en engrasado con ACPM -----	78
Tabla 43. Trabajo no contributivo en levantamiento y ubicación de formaleta -----	78
Tabla 44. Trabajo contributivo y productivo en levantamiento y ubicación de formaleta --	79
Tabla 45. Trabajo no contributivo en form clamps e inserción en formaleta -----	79
Tabla 46. Trabajo contributivo y productivo en form clamps e inserción en formaleta-----	79
Tabla 39. Trabajo no contributivo en unión de las L y retiro de residuos de la formaleta --	80
Tabla 40. Trabajo contributivo y productivo en unión de las L y retiro de residuos de la formaleta -----	80
Tabla 49. Trabajo no contributivo ubicación mezcladora concreto -----	81

Tabla 50. Trabajo contributivo y productivo en ubicación mezcladora de concreto-----	82
Tabla 51. Trabajo no contributivo transporte concreto -----	82
Tabla 52. Trabajo contributivo y productivo en transporte concreto -----	83
Tabla 53. Trabajo no contributivo lámina metálica -----	83
Tabla 54. Trabajo contributivo y productivo en lámina metálica -----	84
Tabla 55. Trabajo no contributivo vertido concreto-----	84
Tabla 56. Trabajo contributivo y productivo en vertido de concreto -----	85
Tabla 57. Trabajo no contributivo en golpes a la formaleta-----	85
Tabla 58. Trabajo contributivo y productivo en golpes formaleta -----	85
Tabla 59. Trabajo no contributivo retiro de aire de concreto -----	86
Tabla 60. Trabajo contributivo y productivo retiro de aire de concreto -----	86
Tabla 61. Material para construcción de columnas concreto-----	94
Tabla 62. Material para construcción de columnas concreto-----	94
Tabla 63. Proveedores asignados para suministro materiales -----	95
Tabla 64. Proveedores asignados para suministro materiales-----	97

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida del proyecto -----	20
Figura 2. Proceso constructivo de columna de concreto en programación de obra -----	36
Figura 3. Construcción columna de concreto -----	38
Figura 4. Construcción columna de concreto -----	39
Figura 5. Caracterización del proceso constructivo de columna de concreto -----	41
Figura 6. Efectos de mala lectura de planos -----	49
Figura 7. Pérdidas por tipo de formaleta escogida -----	52
Figura 8. Pérdida por instalación de formaleta -----	52
Figura 9. Pérdidas en vertido de concreto -----	53
Figura 10. Actividades en PDT Lectura de planos -----	57
Figura 11. Actividades en el PDT cimbrada de la columna -----	63
Figura 12. Estructura PDT Armado de refuerzo -----	66
Figura 13. Estructura PDT ubicación de formaleta -----	75
Figura 14. Estructura PDT Vertido de concreto -----	81
Figura 15. Estructura PDT Retiro de formaleta -----	87
Figura 16. Ubicación de centro de acopio en la construcción -----	89
Figura 17. Ubicación de centro de acopio en la construcción -----	90
Figura 18. Programación de entrega de materiales por parte de los proveedores -----	91
Figura 19. Programación de entrega de materiales por parte de los proveedores -----	96

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: IDENTIFICACION Y ANALISIS DE LOS FACTORES CAUSANTES DE PÉRDIDAS EN OBRA EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE COLUMNAS EN CONCRETO

AUTOR(ES): CARLOS FERNANDO HERRERA DIAZ

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): LEONARDO BARÓN PÁEZ

RESUMEN

Se llevó a cabo un estudio de tipo cualitativo con enfoque descriptivo, con el propósito de identificar y analizar de los factores causantes de pérdidas en obra en el proceso constructivo de columnas en concreto. Para tal fin se analizó un proyecto de vivienda de dos pisos ubicado en la zona Mensuli en la ciudad de Piedecuesta, a partir del cual se determinó la fase de construcción en la que se presentan mayores pérdidas, además de efectuar un análisis de las actividades o subprocesos que agregan y no agregan valor en las diferentes fases constructivas. Finalmente, se propusieron soluciones para minimizar las pérdidas en el proceso productivo. Los resultados mostraron cómo una planeación equivocada, es la principal causa de pérdidas en la construcción de columnas, además de algunas actividades PDT que no generan valor. No obstante, entre las PDT que más generan valor son el armado del refuerzo y el vertido de concreto, pero igualmente, son susceptibles a tener mayores pérdidas de tiempo sino se tienen los elementos para ejecutar estas actividades. Por último las propuestas para minimizar el desperdicio están directamente relacionadas a que los desplazamientos por parte de los trabajadores sea el mínimo requerido, sin dejar a un lado la adquisición y entrega en el sitio de los insumos por parte de los proveedores, propuesta que debe fortalecerse en el nivel administrativo-directivo.

PALABRAS CLAVE:

Lean Construction, columnas en concreto, Plan de trabajo (PDT)

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF THE CAUSING FACTORS OF LOSSES IN WORK IN THE CONSTRUCTION PROCESS OF COLUMNS IN CONCRETE

AUTHOR(S): CARLOS FERNANDO HERRERA DIAZ

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: LEONARDO BARÓN PÁEZ

ABSTRACT

A qualitative study was carried out with a descriptive approach, with the purpose of identifying and analyzing the factors causing losses in the construction work of concrete columns. For this purpose, a two-story housing project located in the Mensuli area in the town of Piedecuesta was analyzed, from which the construction phase was determined in which there are greater losses, in addition to carrying out an analysis of the activities or subprocesses that add and do not add value in the different construction phases. Finally, solutions were proposed to minimize losses in the production process. The results showed how wrong planning is the main cause of losses in the construction of columns, in addition to some PDT activities that do not generate value. However, among the PDTs that generate the most value are reinforcement reinforcement and concrete pouring, but equally, they are susceptible to having greater losses of time if they do not have the elements to carry out these activities. Finally, the proposals to minimize waste are directly related to the displacement by workers is the minimum required, without leaving aside the acquisition and delivery on the site of supplies by suppliers, a proposal that should be strengthened at the administrative-managerial level.

KEYWORDS:

Lean Construction, columns in concrete, workplan

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

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, pues a pesar que en 2017 el PIB a precios constantes aumentó 2,0% en relación al mismo trimestre de 2016, se observó una disminución de 2,1% del valor agregado del sector construcción; este resultado se explica por la disminución de 15,9% en el subsector de edificaciones y el aumento de 8,8% en el subsector de obras civiles¹. No obstante, para el año 2018 se tiene proyectado un crecimiento de 4,6%².

Sin embargo, de manera paradójica, es uno de los sectores con menor grado de desarrollo del país, que ha venido manteniendo las técnicas de construcción tradicionales, lo cual constituye en una desventaja en la medida que no se propongan metodologías alternas de ejecución de proyectos encaminadas a mejorar la productividad de los procesos constructivos y por ende de las organizaciones o empresas que se hacen parte de dicho sector.

Es por esa razón que se planteó la investigación en la implementación de estrategias que permitan mejorar la planificación y ejecución de las obras desde el momento de la concepción y diseño hasta la culminación de las mismas. Lo anterior como una propuesta que tienda a mejorar los procesos constructivos. En el presente documento, se identificó,

¹ DANE. Indicadores Económicos Alrededor de la Construcción – IEAC. Boletín Técnico. 2017. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_ieac_IIItrim17.pdf

² PORTAFOLIO. En el 2018 el sector de la construcción crecerá 4,6%. [En línea], 10 de noviembre del 2017 [revisado el 10 de febrero del 2018]. Disponible en: <http://www.portafolio.co/economia/sector-construccion-crecera-en-el-2018-511534>

caracterizó y analizó el proceso de construcción de columnas; específicamente en un estudio de caso para una vivienda de dos (2) niveles. Lo anterior, para finalmente plantear una propuesta de mejora del proceso constructivo a partir de técnicas inspiradas en los principios de la filosofía “Lean Construction”.

En conclusión, el presente trabajo de grado pretende a través de la investigación responder a la siguiente pregunta: ¿si se eliminan los factores causantes de pérdidas en obra en el proceso constructivo de columnas en concreto, se mejora u optimiza dicho proceso y los recursos que este consumen?

1. Formulación del problema

A diario, es común escuchar en los diferentes medios de comunicación sobre los atrasos que se presentan en la realización de obras de tipo civil y vivienda en diferentes países siendo Colombia uno de estos, teniendo graves consecuencias para la economía del país porque está expuesto a mayores riesgos porque las infraestructuras no son seguras, especialmente a eventos como el fenómeno de la niña³. Existen diversos factores que afectan estas pérdidas de tiempo que se convierten en pérdidas de utilidades para la constructora que realiza la obra porque si bien se considera un porcentaje para lo referente a imprevistos, que hacen referencia a los riesgos normales en que incurre el contratista es decir situaciones inesperadas como: atrasos por efecto del clima, accidentes de trabajadores, obras adicionales, deslizamientos por efecto del clima, derrumbes, entre otros⁴, en varias ocasiones este porcentaje es absorbido por actividades propias y que excede la cantidad definida para este ítem.

Según un estudio realizado en México, son diversas las causas por las que se tienen pérdidas en las constructoras teniendo las siguientes⁵:

- Carencia de conocimiento del negocio de la construcción
- Precios irreales

³ EL ESPECTADOR. Retrasos en obras ponen en riesgo a regiones ante posible llegada de La Niña. [En línea], 20 de junio del 2016 [revisado el 10 de febrero del 2018]. Disponible en: <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/retrasos-obras-ponen-riesgo-regiones-posible-llegada-de-articulo-638827>

⁴ ACTUALICESE. Administración, Imprevistos, Utilidad: conociendo el A.I.U. a fondo. [En línea], 20 de Octubre del 2015 [revisado el 6 de Noviembre del 2017]. Disponible en: <https://actualicese.com/actualidad/2014/10/20/administracion-imprevistos-utilidad-conociendo-a-i-u-a-fondo/>

⁵ BUSCADOR DE ARQUITECTURA NOTICIAS. 13 Razones por las que las empresas de construcción pierden dinero. [En línea], 13 de Octubre del 2017 [revisado el 6 de Noviembre del 2017]. Disponible en: <http://noticias.arq.com.mx/Detalles/18449.html>

- Competencia
- Capacitación inadecuada
- Control de costos deficiente
- Ausencia o insuficiencia control de calidad
- Mercadotecnia inadecuada
- Mala administración de los recursos humanos
- Incorrecta distribución del anticipo
- Gastar el dinero bueno de una obra nueva a otra en problemas
- Imprevistos, trabajar con metodologías antiguas

Todos estos factores inciden en la calidad y eficiencia de los procesos constructivos, generando sobrecostos en las obras, en donde algunos de estos factores mencionados se presentan por falta de administración propia de la obra y por los que se debe iniciar porque si no se tiene control sobre estas, será muy difícil controlar aquellas variables externas. Es por esto que se presenta la necesidad de que las empresas constructoras estudien a fondo los factores de pérdidas considerando todas las actividades que no agregan ningún valor, pero que consumen tiempo, recursos y espacios que generan sobrecostos en el proceso productivo.

Muchas de estas empresas, han adoptado sistemas de gestión de producción y calidad en los que controlan los procesos de tal manera que se reducen notablemente las pérdidas, que si bien se sabe que en la construcción llegar a la eliminación de pérdidas es una tarea sumamente difícil, definitivamente se pueden disminuir en gran medida con el hecho de implementar una metodología sencilla que permita la optimización del ciclo.

Considerando los problemas antes mencionados se plantean las siguientes preguntas que enfatizan la falta de una metodología para la reducción de pérdidas:

¿Qué se requiere para reducir las pérdidas de un proyecto de construcción en su etapa de ejecución?

¿Cuáles son las principales fuentes de pérdidas en el desarrollo de un proyecto de construcción?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Identificar las fuentes causantes de pérdidas en el proceso constructivo de columnas en concreto, desarrollando una propuesta metodológica para controlar y reducir los desperdicios durante la etapa de ejecución de proyectos de construcción.

2.2. Objetivos específicos

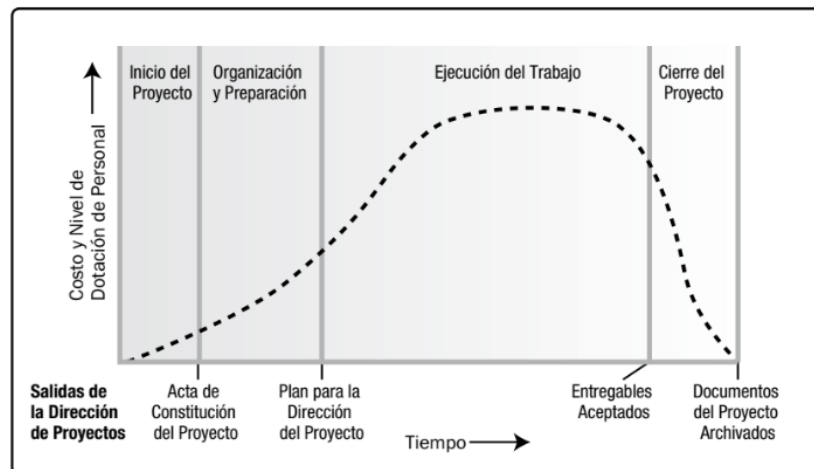
- Realizar un estudio detallado de cada uno de los factores causantes de pérdidas relacionadas con la mano de obra, equipo, materiales y los demás insumos que se utiliza en el proceso productivo de la construcción de una columna en concreto.
- Determinar la fase de construcción en la que se presentan mayores pérdidas o trabajos no contributivos que alteren el proceso constructivo.
- Efectuar un análisis de las actividades o subprocesos o partes del proceso que agregan y no agregan valor en las diferentes fases constructivas.

Proponer soluciones que minimicen las pérdidas en el proceso productivo de la construcción, y elaborar una propuesta en la que se aplique un enfoque de reducción de pérdidas en obra diferente, direccionándolo hacia las actividades que agreguen valor en la obra.

3. Justificación

En el sector privado los recursos que se asignan para la ejecución de obras provienen generalmente de la empresa que va a ejecutar el proyecto, que, con una administración adecuada de la entidad privada, se convierten en beneficios económicos mediante la materialización de los proyectos de inversión. En el desarrollo de una obra, existen diversas etapas siendo la etapa de ejecución aquella que consume mayores recursos tanto de tiempo como físicos (como lo muestra la figura 1), en donde se debe tener cuidado para que la asignación de estos recursos sea la adecuada porque de allí depende en gran parte que se realice la obra de acuerdo a lo planeado y no se terminen ejecutando mayores costos o inversiones de las programadas. Para esto, una de las variables que se debe tener en cuenta para evitar lo anteriormente mencionado (mayores costos o inversiones) son los factores que generan sobrecostos en el proceso constructivo.

Figura 1. Ciclo de vida del proyecto



Fuente: PMBOK® quinta edición

El sector construcción ha sido uno de esos impulsores de la economía Colombiana en estos últimos años, en las que se ha visto afectada por la baja de los precios

del petróleo⁶, siendo esta la razón por la cual se debe optimizar su proceso para que de esta forma le permita contribuir al país con el crecimiento económico especialmente para las viviendas de interés social que impulsa el sector en un 29,4%⁷ y que son las construcciones de este tipo las que requieren mayor optimización en su costo para que su precio de venta sea asequible a los estratos económicos bajos.

Como se mencionó, existen diversos factores que hacen que las constructoras pierdan dinero y en los cuales se debe trabajar para que desde aquellos procesos que son internos de cada compañía, se mejore esta situación permitiendo que se genere beneficios no sólo a la compañía constructora por la generación de utilidades, sino a los usuarios o cliente por contar con una obra de calidad y al país por mejorar la economía y calidad de vida de aquellos que viven en él, especialmente en el creciente impulso que el gobierno le esta dando a la vivienda de interés social, que se ha convertido en una fuente de crecimiento del sector.

Es por esto que se hace necesario la medición del desempeño actual del sistema de producción en la construcción por medio de la identificación, caracterización y análisis de los diversos elementos que lo componen para detectar aquello que no genera ninguna contribución que se convierte en un punto de partida en la implementación de cualquier sistema de mejoramiento. La identificación de pérdidas, a través de sencillas técnicas, como muestreo de trabajo, encuestas de demoras y cartas de balance de cuadrillas han sido

⁶ EL PAIS. Sector de la construcción, motor del crecimiento de la economía. [En línea], 18 de Marzo del 2015 [revisado el 6 de Noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.elpais.com.co/economia/sector-de-la-construccion-motor-del-crecimiento-de-la.html>

⁷ Kertzman, Fanny. REVISTA DINERO. Construcción sigue postrada. [En línea], 7 de Junio del 2017 [revisado el 6 de Noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.dinero.com/economia/articulo/sector-construccion-en-la-economia-colombia-2017/247364>

utilizadas como medida indirecta de la productividad en obras, ya que se asume que al identificar las categorías y causas de las pérdidas en la construcción y reducirlas, se optimizan los recursos en los costos y las inversiones de los proyectos.

En este trabajo de investigación se trabajará en la identificación, caracterización y análisis de los factores causantes de pérdidas en obra para este caso en el proceso constructivo de columnas en concreto que es una actividad clave en la construcción de vivienda que requiere de estudio porque de esta depende la estructura y soporte de una construcción además de proponer alternativas que solucionen y reduzcan las pérdidas para poder obtener un proceso óptimo.

4. Alcance

El alcance de la investigación se enfoca en identificar los diferentes factores o actividades o subprocesos o actividades que afectan el proceso productivo en la construcción de un proyecto privado de edificaciones, en el Departamento de Santander y realizar propuestas que minimicen las pérdidas en el proceso productivo.

Estudio de Caso: Información general del proyecto – Datos generales del proyecto

- Actividad de obra a estudiar:

Licencia: Construcción – Modalidad obra nueva.

Numero de radicación: 68547-0-16-362

Fecha: 14 de Septiembre de 2016

Uso: Residencial – Vivienda Unifamiliar

Dirección: Lote 67 Condominio Campestre Terrazas de Mensuli

Se trata de un proyecto de vivienda de dos pisos ubicado en la zona Mensuli en el municipio de Piedecuesta. Para este trabajo, se estudiará el proceso productivo de construcción de columna de concreto teniendo en cuenta que hacen parte de una estructura típica para una vivienda. Adicionalmente a lo anterior, este tipo de elemento estructural requiere un adecuado diseño estructural de toda la edificación

en conjunto además que aportan rigidez a lo que son fuerzas externas como el viento y un eventual sismo⁸.

- Especificaciones de la columna: la columna (elemento estructural -vertical, cuya solicitud principal es la carga axial de compresión acompañada o no de momentos flectores, torsión o esfuerzos cortantes, las dimensiones mínimas de las columnas de la estructura principal según la NSR 98 son de un diámetro mínimo de 0,25 m para secciones circulares y una dimensión mayor a 0,20 m con área de 0,063 m² para columnas con área rectangular⁹), se realizará en concreto.
- Además establecer una propuesta metodológica para la reducción de pérdidas en proyectos de construcción de vivienda de estrato alto para etapa de ejecución con base en la teoría existente del Lean Construction, la investigación de campo y el criterio propio.

⁸ CONSTRUYA FÁCIL. Como hacer una columna de concreto reforzado. [En línea], 23 de Noviembre del 2013 [revisado el 6 de Noviembre del 2017]. Disponible en: <http://www.construyafacil.org/2013/11/Como-hacer-una-columna-de-concreto-reforzado.html>

⁹ SENA. Procesos y procedimientos para la construcción. [En línea], 2012 [revisado el 6 de Noviembre del 2017]. Disponible en: http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/8830/procesos_procedimientos_pa_ra_la_construccion.html#

5. Estado del arte

Las primeras ideas de la nueva filosofía de producción se originaron en Japón en el año 1950, las cuales fueron aplicadas en el Sistema Toyota. Las ideas básicas en el Sistema de producción de Toyota son la eliminación de inventarios y pérdidas, limitación de la producción a pequeñas partes, reducir o simplificar su estructura de producción, utilización de máquinas semiautomáticas, cooperación entre los proveedores, entre otras técnicas. (Monden 1983, Ohno 1988, Shingo 1984, Shingo 1988).

El modelo denominado lean construction (construcción sin pérdidas), fue propuesto por Lauri Koskela en el año 1992, analiza los principios y las aplicaciones de El Just in Time (Producción Justo a Tiempo), El TPM (Mantenimiento Productivo Total), El TQM (Gestión de Calidad Total) para así identificar las bases de lean construcción.

“En Latinoamérica ha sido implementada en Chile, dirigido por el Ingeniero Luis Fernando Alarcón, a través del programa de excelencia en gestión de la construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile; durante cinco años se realizaron mediciones en más de 40 proyectos de construcción (oficinas, hoteles, vivienda) en un total aproximado de 370.000 m² construidos. Además, se tiene conocimiento de la implementación en Brasil y México.”¹⁰

En Colombia ha sido exitosamente aplicada en la ciudad de Medellín, donde se realizó una prueba piloto en los años 2002 y 2003, dirigidos por Luis Fernando Botero y Martha Eugenia Álvarez, profesores de la universidad EAFIT.

¹⁰ BOTERO, Luis Fernando y ALVAREZ, Martha Eugenia. Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción. En: Revista Universidad EAFIT, 2003. vol. 39. no. 130, p. 64-78.

“La prueba piloto (Mejoramiento de la productividad en proyectos de vivienda a través de la filosofía lean construction) se le realizó a 9 proyectos y 4 constructoras de la ciudad con 43.569 m2 construidos en el año 2002”¹¹

“En el año 2003 se llevó a cabo la investigación denominada implementación de un programa de mejoramiento en gestión de la construcción, que fue aplicada a 17 proyectos de 9 constructoras con 136.572 m2 construidos. Donde al finalizar se presenta una guía para el mejoramiento de la productividad en la construcción de proyectos de vivienda.”¹²

En la Universidad de los Andes se han realizado cuatro investigaciones sobre el tema; una en “Mejoramiento de la productividad a través de la construcción sin pérdidas” (Romero, 1999), “Políticas de productividad para compañías constructoras de vivienda de interés social” (Garzón, 2001), un proyecto de grado “Lean construction aplicado a un proyecto de vivienda de interés social” (Bermudez,1999) y por ultimo “Mejoramiento de la gestión en la construcción mediante el sistema último planificador” (Perdomo, 2005).”¹³

5.1. Mediciones en obra

Hay diversos factores que favorecen positivamente a una empresa al medir las pérdidas de su sistema de producción:

¹¹NUÑEZ, Cristina y Echeverry, Diego. Creación de un sistema de referencia en Bogotá, aplicando la Construcción sin pérdidas. En: Universidad de los Andes, 2006.

¹² BOTERO, Luis Fernando y ALVAREZ, Martha Eugenia. Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (LEAN CONSTRUCTION como estrategia de mejoramiento). En: Revista Universidad EAFIT, 2004. vol. 40 no. 136, p. 50-64

¹³ NUÑEZ, C.A, Op. Cit.

- **Visibilidad:** la medición de las pérdidas permite identificar las fortalezas y debilidades del sistema de producción estableciendo prioridades para su mejoramiento, como consecuencia generando un aumento de la competitividad.
- **Control:** la empresa puede establecer indicadores de desempeño con relación a las pérdidas.
- **Mejoramiento:** los indicadores de pérdidas pueden utilizarse para el establecimiento de metas de mejoramiento a partir de medidas sectoriales.
- **Motivación:** permite a los participantes del sistema de producción una retroalimentación a su desempeño y al proceso en el que participa. (Botero, 2003)

5.2. Lean construction

La metodología lean construction, busca diseñar sistemas de **producción** para minimizar la pérdida de recursos, tales como materiales, tiempo y esfuerzo con el fin de generar el mayor valor posible. Lean Construction tiene su **enfoque en productividad**, a diferencia del modelo tradicional que tiene su enfoque en producción.

Es importante aclarar que cuando el enfoque está en la producción se busca que los procesos sean más efectivos, y cuando el enfoque está en la productividad entonces se buscan procesos que sean más eficientes. La forma en que esta metodología abarca el concepto de **productividad** es a través de la **reducción de pérdidas** mediante el **incremento de la fiabilidad** en los flujos de trabajo. Por lo que para lograr estos objetivos lean construction centra sus esfuerzos en el proceso de **planificación y las técnicas de control**.

Existen tres puntos importantes para que la implementación de la nueva filosofía de producción sea exitosa:

Compromiso de la gerencia: sin la activa participación de la gerencia se crea una barrera natural que impide cualquier esfuerzo en otros niveles de la organización. El cambio se realiza a través de las personas y con ellas se construye una nueva cultura.

Enfoque en la medición del desempeño y del mejoramiento: la elaboración de indicadores que muestren el mejoramiento en el desempeño del sistema de producción motiva al grupo de empleados y en general a toda la organización.

Aprendizaje: la implementación de la nueva filosofía requiere el aprendizaje de los conceptos y las herramientas para la aplicación en el mejoramiento del proceso.

Pérdidas: son todas las actividades que no agregan valor y que consumen tiempo, recursos y espacio, generando costos en el proceso de producción (actividades de flujos).

Para eliminar pérdidas en la construcción, primero debemos saber las fuentes de ellas. La visión más reciente y adecuada fue planteada por Borcharding en 1986 quien postula cinco grandes categorías de tiempo improductivo:

1. Pérdidas por esperas (inactividad)
2. Pérdidas por traslados
3. Pérdidas por trabajo lento
4. Pérdidas por trabajo inefectivo
5. Pérdidas por trabajo rehecho

A su vez pueden ser clasificadas de acuerdo a su fuente según al área a la que pertenecen

- a. Administración: Requerimientos innecesarios, exceso o falta de control, mala planificación o excesiva burocracia.

- b. Uso de Recursos: Exceso o falta de cantidad, falta de cantidad, mal uso, mala distribución o disponibilidad.
- c. Sistemas de Información: No necesaria, defectuosa, atrasada o poco clara.

- **Conversiones**

Son todas las actividades de transformación que convierten los materiales y la información en productos, pensando en los requerimientos del cliente. Por lo tanto, son las actividades que agregan valor.

- **Productos**

Los productos es lo que se obtiene de los resultados de las conversiones. Los productos deben cumplir con los requerimientos de los clientes, ya contienen el valor agregado del proceso de conversión de la materia prima.

- **Cadena de Valor**

Se define a la dirección de la cadena de valor a la manera de controlar, manejar, y de dirigir una secuencia de actividades que una empresa realiza para crear productos (servicios) que aumenten beneficio, disminuyan tiempo y costo, y mejoren la calidad para la empresa y generan beneficio (valor) para el cliente. (Revista certificación, 2010).

- **Logística**

La logística se puede entender como un proceso multidisciplinario que intenta garantizar en el tiempo exacto, el costo y la calidad del proceso:

- Suministro de materiales, su almacenaje, procesamiento y dirección;
- Suministro de mano de obra;
- Control de los programas de construcción;

- Movimiento de la maquinaria de construcción en terreno;
- Dirección de los flujos de construcción;
- Dirección de los flujos de información relacionada con los flujos en el proceso de ejecución.

Esto se logra con el mejoramiento en las actividades de planificación, organización y el control antes, durante y después de los trabajos de construcción

5.3. Clasificación de las causas de pérdidas en la construcción

5.3.1. Causas controlables

- Asociadas a los flujos

Recursos: falta de material en el sitio de trabajo, material inadecuadamente distribuido en la obra, inadecuados medios de transporte, equipo no disponible, ineficiente utilización de este, equipo inadecuado para las condiciones de trabajo y mala actitud del trabajador.

Información: falta de información, pobre calidad y tiempo inadecuado de entrega de información.

- Asociadas a las conversiones

Método: diseño deficiente de cuadrillas de trabajo, procedimientos inadecuados, soporte inadecuado a las actividades de trabajo.

Planeación: falta de áreas de trabajo, superpoblación (muchos trabajadores laborando en áreas reducidas), pobres condiciones de trabajo.

Calidad: falta de calidad en la ejecución de los trabajos, daños ocasionados al producto terminado.

- Asociadas a la administración de la obra

Proceso de tomas de decisiones: inadecuada distribución del personal, inadecuada disposición de instalaciones provisionales.

Supervisión: poca supervisión

5.3.2. Causas no controlables

- Variables del mercado: el movimiento de los sectores económicos, hace que afecta el valor de los insumos para la construcción o que la capacidad adquisitiva de los compradores potenciales no sea la misma.
- Eventos fuerza mayor: es de gran impacto cuando se presentan adversidades por efectos del clima, deslizamientos de tierra y demás referentes que se generan por la naturaleza y a la sociedad que se pueden presentar durante la ejecución de la obra¹⁴.

¹⁴ BOTERO, Luis Fernando. Lean Construction, aplicación al caso colombiano (diapositivas). En: Informática Académica, 2008.

6. Metodología

1. A partir de la investigación y estudio bibliográfico se va a recopilar la información más relevante que se va a aplicar en el desarrollo del proceso de los factores que generan pérdidas en el proceso productivo de las construcciones.
2. Establecer la actividad a la cual se le debe realizar la medición de pérdidas en la mano de obra. En este caso se ha definido el estudio y análisis de las columnas.
3. Bajo las premisas de mitigar las pérdidas en productividad, costos y calidad. Tomo la información correspondiente al proyecto, definiendo las actividades, sub-actividades y recursos a aplicar en el proceso constructivo de columnas, para así realizar la medición de la actividad con su respectiva técnica. En este caso: hechura de la armadura, sus respectivos amarres a la parrilla de la zapata, colocación del concreto, colocación del encofrado de la columna, vaciado de concreto y desencofrado. Definida en el punto anterior, para identificar las deficiencias, perdidas y evaluar las causas que las generan.
4. Recopilar tiempos, observaciones, datos cualitativos y cuantitativos para tabular y analizar.
5. Sugerir diferentes soluciones para cada una de las fallas que se presenten en la productividad y observar los efectos que pueden generar sobre los procesos productivos de construcción.
6. Mediante la elaboración de formatos donde se registre las características y datos más importantes a recopilar, con el fin de clasificar la información obtenida y organizarla en un documento donde pueda ser buscada para eventuales proyectos.

7. Desarrollo del contenido

7.1. Caracterización del proceso de construcción de columnas en concreto

Para el presente proyecto, se realizó el análisis para la construcción de columnas en concreto para un proyecto que consta del levantamiento y construcción de casas con áreas entre los 100 y 150 m². Se usa el sistema constructivo tipo pórtico para dos niveles con la posibilidad de realizar un tercer nivel en caso de ser requerido por el cliente.

DESCRIPCIÓN

- ✓ Revisión planos estructurales generales- revisión de ejes
- ✓ Toma de medidas y dibujo de líneas guía sola la superficie sobre la cual se erguirá la columna.
- ✓ **Armado de refuerzos:** continuidad desde la placa inferior a la placa superior. Las varillas empotradas provenientes del piso inferior determinan el arranque de las columnas. Se toma la medida y ubican las varillas de 1/2 en forma de cuadro ubicando una varilla en cada esquina. En la parte superior se unen las varillas con alambre recocado para dar la forma al perfil cuadrado que tendrá la columna.
- ✓ **Armado de flejes (estribos):** Se procede a agrupar los flejes por la cantidad a utilizar en cada columna. Con ayuda de un planchón se alcanza la parte superior de las varillas por donde se encajan los flejes. Estos flejes se empiezan a asegurar con alambre recocado desde la parte de abajo de la columna con alambres. La distancia entre ellos es de 10 cm, la cual debe ser marcada por el operario y posteriormente verificada por el maestro de la obra. Aplicar soldadura en las uniones.
- ✓ **Ubicación de formaletas laterales:** En este caso se usan formaletas metálicas. Se engrasa cada lámina con acpm para poder realizar posteriormente el desencofrado.

- ✓ Se ubican los dos primeros paneles siguiendo la línea anteriormente marcada. Y se realiza la sujeción de los paneles mediante la chaveta central. La cuál es asegurada con un martillo.
- ✓ Una vez se tengan los dos primeros paneles asegurados se procede a encajar el tercero en su lugar y realizar la misma sujeción con la chaveta central seguidamente del cuarto panel.
- ✓ Con los 4 paneles de pie y sujetos por la chaveta principal se procede a realizar la colocación y apriete del resto de las chavetas.
- ✓ Se utilizan cuñas de madera para equilibrar el pilar respecto al suelo.
- ✓ Se realiza el aplomado y apuntalado para corregir y mantener la posición vertical del pilar. Se dispone el obrero a traer las partes y ubicarlas en cada panel para mantener la posición. Una vez asegurados se usan los andamios los cuales les permitirán alcanzar la parte superior del encofrado.
- ✓ Una vez allí ubicado el operario y haciendo uso de una manguera, se inicia el vaciado de concreto dentro de la estructura. Simultáneamente, un operario en la parte inferior se encarga de dar golpes con un martillo a la estructura para ayudar en la remoción de vacíos y que el concreto llegue a todos los lugares dentro del encofrado.
- ✓ Un tercer operario ubicado en los andamios, inserta un vibrador para ayudar con la eliminación de vacíos dentro de la columna lo que dará mayor rigidez a la misma. Una vez realizado el vaciado de todo el concreto, se continúa usando el vibrador hasta lograr la eliminación de los vacíos dentro de la columna.

- ✓ Se debe esperar un aproximado de tres días para que el concreto se seque. Cuando ya se encuentra lo suficientemente seco, se retira el aplomado y se inicia la remoción de las chavetas usadas para asegurar los paneles. Se retiran todos los paneles a los cuales se les realiza una limpieza y se apilan.

Observado en los videos

Para las columnas del segundo nivel se continúa con las varias del primero. Se ubican 4 varillas de ½ pulgada en esquinas para formar un cuadrado. Dichas varillas tienen una altura mínima de 2,2 metros. Con las varillas instaladas, se procede a unir los flejes y acomodarlos para pasar a ser instalados y asegurados en las varillas con un espaciado mínimo de 20 cm entre cada fleje. Dos operarios se encargan de alinear los flejes. Una vez acomodados, uno de los operarios usa la plataforma con todos los flejes en la mano y busca la mejor posición para poder alcanzar el extremo superior de las varillas y poder ingresar los flejes.

Una vez introducidos los flejes, se deben ubicar y asegurar con alambres con el espaciado determinado. Dos operarios se encargan de fijar cada fleje usando un bichiroque (herramienta en forma de pinza metálica que facilita el amarrado de piezas metálicas para manipular los alambres usados para el ajuste). Al tener todos los flejes instalados se procede a hacer el cerramiento utilizando placas metálicas las cuales se engrasan para hacer más sencillo el retiro del mismo una vez se ha endurecido el concreto.

Cuando va vaciando el concreto, el cual se realizaba por dos obreros sobre plataforma, uno manipulando la manguera de vertido y el otro sirviendo de apoyo y de colaboración para mantener en postura la manguera. De igual manera se puede observar un obrero en la tabla operando la manguera, otro en la tabla haciendo no mucho aparentemente

Tabla 1. Detalle de Insumo

INSUMO
Barras de acero (varillas) de sección circular de ½ pulgada
Cemento (bulto)
Arena gruesa (bulto)
Piedra de cuartilla (bulto)
Agua (litros)
Alambre recocado (Unidad)
ACPM (litros)
Estribos (flejes) (Unidad)
Riostras metálicas (para estabilizar encofrado) (Unidad)

Fuente: Elaboración Propia

Herramientas:

- Martillo
- Cuñas
- Paneles para encofrado
- Vibrador
- Andamios
- Bichiroco

Para tener claro este proceso, a continuación, se presenta un esquema con fotografías del paso a paso de elaboración de una columna de concreto.

Figura 3. Construcción columna de concreto



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Construcción columna de concreto en Mensuli
Varillas empotradas



Cimbra de la columna



Armado de refuerzos



Ubicación Formaleta



Vertido de concreto

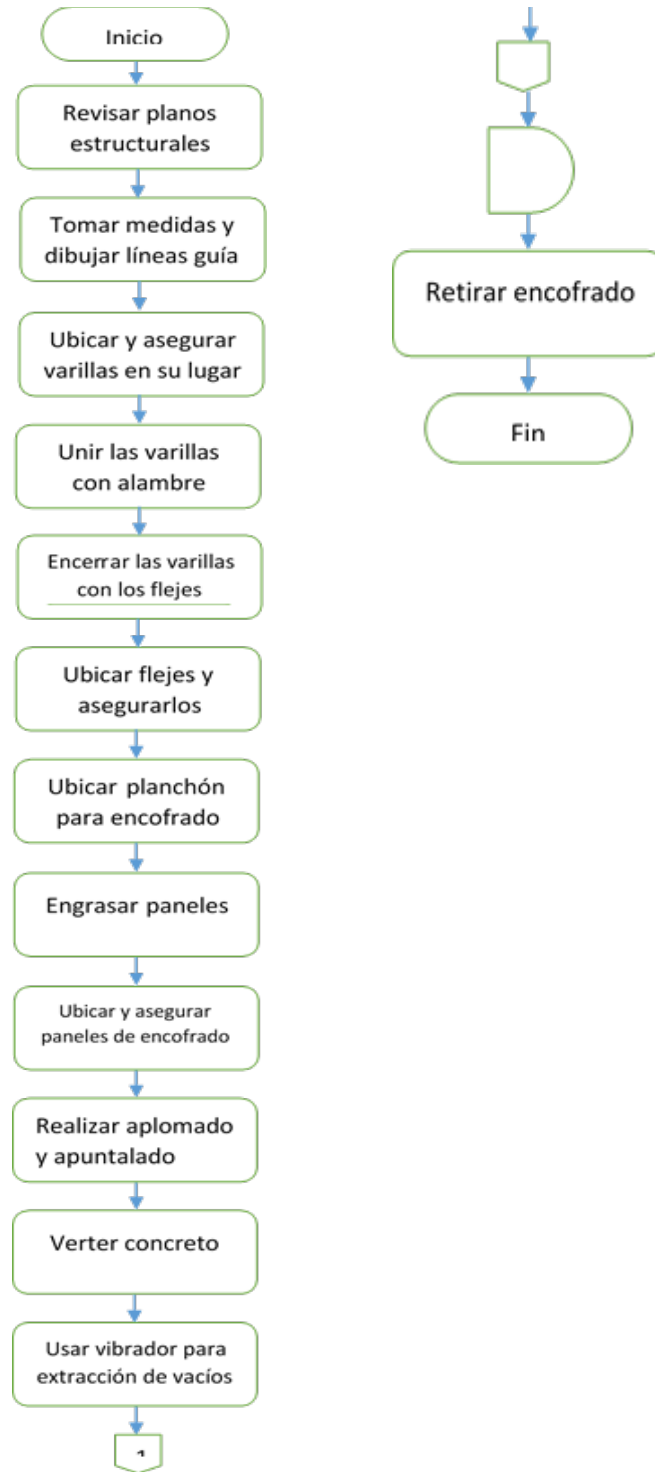


Fraguado y retirada formaleta



Fuente: Imágenes tomadas en la obra

Figura 5. Caracterización del proceso constructivo de columna de concreto



Fuente: Autor

Fraguado: es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón o de cemento.

Desencofrar: Retirar la formaleta después que el hormigón ha fraguado.

Flejes: Figura en forma rectangular o circular que se coloca en vigas y columnas.

Aplomar: Plomadas que se sitúan en el extremo para dar nivel a las formaletas.

Hiladas: Nivelación de formaletas.

Cimbrada: Es un elemento auxiliar que sirve para sostener provisionalmente el peso de una estructura.

Formaleta: Molde temporal para el concreto fresco, de madera, que se retira una vez que el concreto logra la resistencia suficiente para sostenerse a sí mismo.

7.2. Riesgos y pérdidas en el proceso constructivo de columna de concreto

En la etapa de construcción de las obras se ejecutan la mayor parte de los egresos correspondientes a los costos directos del proyecto siendo importante identificar y resaltar los factores que generan sobrecostos con el fin de poder diseñar estrategias o metodologías que contribuyan a minimizarlos y controlarlos porque son estos los que generan pérdidas a las obras y se corre el riesgo de que la columna quede mal elaborada.

Como punto de partida se tiene la revisión del sistema de producción en la construcción en donde se pretende realizar la identificación y separación de los diferentes trabajos (trabajo productivo, contributivo y no contributivo), enfocados principalmente en detectar los diferentes factores que causan pérdidas en las obras.

Una vez descrito todo el proceso productivo para la construcción de columnas de concreto, se realiza la clasificación de la siguiente manera:

Trabajo productivo:

- Amarre de varillas de refuerzo
- Ubicar y asegurar flejes
- Encofrado
- Preparación y vaciado del concreto
- Extracción de vacíos por medio del vibrador
- Armado de plataforma para realizar la instalación de los flejes
- Desencofrado

Trabajo contributivo:

- Medición previa y trazado de guías
- Transporte flejes hasta el lugar de construcción de la columna
- Limpieza de encofrado
- Plomado y apuntalado de la estructura
- Verificación aplomada

Trabajo no contributivo:

- Traslado de flejes en cantidades de manera tal que una vez en el sitio de construcción se separan nuevamente en la cantidad requerida por la columna a reforzar.
- Traslado de los flejes al sitio de la construcción al terminar con las varillas. Incurriendo en espera de ese traslado y posterior separación en las cantidades requeridas.
- Incluso cuando se evidencia la cantidad suficiente de obreros, una vez terminado el proceso de armado del refuerzo es que se inicia con la limpieza de las canaletas a

utilizar, se incurre en esperas para el inicio de la siguiente actividad que es ubicación de formaleta.

- Falta de planeación y distribución del trabajo, porque mientras se realiza el vaciado del concreto hay tres obreros en el trabajo y tres esperando.
- Esperas por demora en la llegada de los materiales como varilla, concreto, estribos al lugar de la construcción donde son requeridos.
- Revisión y reproceso de ajuste de los flejes por mala operación del obrero que inicialmente se encargó de realizar esta labor.
- Demora en el vaciado del concreto una vez instaladas las formaletas.
- Poca supervisión por parte de los encargados de la obra como ingenieros, supervisores y maestros que hacen que los ejecutores cometan errores que se convierten en pérdidas de tiempo por el reproceso.
- Actividades ejecutadas sin control de seguridad como obreros sin guantes o con guantes desgastados, sin casco, trabajando en superficies superiores a 1,5 metros sin arnés, que se pueden convertir en accidente de trabajo que generarían pérdidas de tiempo por disminución de horas hombre.
- Organización de materiales por inadecuada distribución de los materiales a utilizar en las actividades de obra.
- Falta capacitación y supervisión. Uso incorrecto del vibrador, puesto que este no se usa con un ángulo de incidencia de 90 grados, necesario para garantizar que realmente se eliminen los vacíos y ocasionando posibles fallas en la calidad del producto final.

A continuación, en la tabla 2, se presentan en forma resumida, algunos de los conceptos que generan pérdidas en el proceso constructivo de columnas de concreto y en la tabla 3, clasificados según los elementos que intervienen en las obras de construcción.

Tabla 2. Factores causantes de pérdidas en la construcción de columna de concreto

Factor	Descripción
Programación del tiempo no realista	Fecha de inicio y terminación del proyecto no es coherente. No se toman en cuenta reproceso, demoras y tiempos de espera
Seguridad de los trabajadores insuficiente	Elementos de protección personal en malas condiciones
Insuficiente experiencia y habilidades en trabajos de construcción	Trabajadores del proyecto con poca o nada de experiencia en realización de obras
Plan de construcción inadecuado	Planeación de trabajos mal realizada
Suministro inestable de materiales	Los proveedores no cumplen con el suministro de material importante para la obra.
No señalización de riesgos en la obra	Peligros y riesgos de la obra no son debidamente señalizados
Trabajadores con elementos de seguridad inadecuados	Los elementos de protección personal no son los adecuados o están deteriorados
Estructuras y equipo de elevación en mal estado	Andamios inestables, grúas en malas condiciones
Alto nivel de accidentalidad	Trabajos ejecutados con alta probabilidad de accidentes
Subestimación de cantidades	Mala asignación de cantidades a los recursos necesarios para la obra
Cambio precios de recursos	Variación constante de los precios de los materiales y demás recursos
Retrasos en el suministro de materiales y materias primas	Suministro tardío de requerimientos que atrasan las actividades
Transp. carga inadecuado	Los medios de transporte no son adecuados
Baja productividad	Alto consumo de recursos con poco avance en la obra
Paquetes de trabajo mal definidos	Asignación equivocada de actividades, mano de obra y requerimiento de materiales para los paquetes de trabajo
Baja calidad en los procesos y actividades	Trabajos de la obra realizados con poca precisión y sin verificación del cumplimiento adecuado al final de su ejecución
Plan de construcción inadecuado	Planeación de trabajos mal realizada

Fuente: Autor

Tabla 3. Elementos en el proceso constructivo de columna de concreto y sus pérdidas

Factor	Descripción	Tipos de pérdidas
Mano de obra	Trabajadores con tiempos ociosos por falta de programación de actividades	* Tiempo (horas hombre)
	Trabajadores con poca experiencia en la construcción de columnas de concreto, tomándose mayor tiempo en la terminación	* Dinero (horas hombres pagadas) * Clientes (Entrega tardía de la obra)
	Trabajadores con elementos de protección personal inadecuados o deteriorados	* Calidad (obra con defectos de construcción)
	Bajo compromiso de los trabajadores con las actividades de obra	
	Falta de personal para cubrir las actividades	* Clientes (Entrega tardía de la obra) * Calidad (obra con defectos de construcción)
Equipo/Herramientas (formaleta, carmix, bichiroco, entre otros)	Equipos empleados en mal estado (Andamios inestables, grúas en malas condiciones)	* Tiempo (horas hombre) * Dinero (horas hombres pagadas, equipos alquilados/comprados)
	Equipos empleados que no cumplen con las especificaciones que requiere la obra	* Clientes (Entrega tardía de la obra)
	Cantidades insuficientes de equipos	* Calidad (obra con defectos de construcción)
	Exceso de equipos	* Dinero (equipos alquilados/comprados)
Materiales	Baja calidad en los materiales	
	Insumos en obra con especificaciones inadecuadas para la columna a construir	* Dinero (horas hombres pagadas, material pagado)
	Proveedores que no cuentan con los insumos requeridos según la obra	* Calidad (obra con defectos de construcción, entrega tardía de la obra)
	Subestimación de cantidades	* Clientes (Poca demanda por baja calidad de la obra)
	Baja compatibilidad de los materiales	
	Sobreestimación de cantidades	* Dinero (horas hombres pagadas, material pagado)
Gestión	Programación del tiempo no realista	* Tiempo (horas hombre)
	Asignación equivocada de actividades que no cumplen con el alcance del paquete de trabajo	* Dinero (horas hombres pagadas,) * Clientes (Entrega tardía de

	Fallas en la logística de suministros de insumos	la obra) * Calidad (obra con defectos de construcción) * Calidad (obra con defectos de construcción)
	Falta de proyección de recursos para cambios precios	* Dinero (insumos pagados)
Ingeniería	Diseño de planos y estructuras mal elaborado	* Tiempo (horas hombre)
	Estructuras (varillas y estribos) mal distribuidos y asegurados)	* Dinero (horas hombres pagadas)
	Mezcla de concreto mal inadecuada	* Clientes (Entrega tardía de la obra)
	Distribución de concreto en encofrado inadecuada	* Calidad (obra con defectos de construcción)
	Concreto encofrado mal secado	
Naturales	Tormentas que afectan la estabilidad de los materiales y herramientas en el levantamiento de la columna	* Tiempo (horas hombre) * Dinero (horas hombres pagadas)
	Inundaciones que afectan los materiales y herramientas	* Clientes (Entrega tardía de la obra)
	Terremotos que destruyen la columna en proceso de levantamiento o completada	* Calidad (obra con defectos de construcción)

Fuente: Adaptado de Seguros Mapfre¹⁵ y Kuo, Y. C., & Lu, S. T. (2013)¹⁶

7.3. Pérdidas en las fases de construcción de la columna de concreto

Para la construcción de una columna de concreto, intervienen diferentes elementos en varias fases en donde cada una debe ser ejecutada de forma correcta, porque de esto depende que la edificación cuente con un soporte que asegura su éxito.

¹⁵ SEGUROS MAPFRE. Manual sobre riesgos en la construcción, daños a la obra y pérdida de beneficios anticipada (ALOP). [En línea], 2006 [revisado el 13 de Noviembre del 2017]. Disponible en: https://www.mapfrere.com/reaseguro/es/images/Manual-Riesgos-Construccion-ALOP_tcm636-81085.pdf

¹⁶ KUO, Yao-Chen; LU, Shih-Tong. Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects. En: International Journal of Project Management. 2013, vol. 31, no 4, p. 602-614.

Estos fueron mostrados en la figura 3 y en este apartado se mostrarán las pérdidas que se presentan en la construcción de la columna de concreto y aquella que es más representativa en términos de tiempo, costos y calidad.

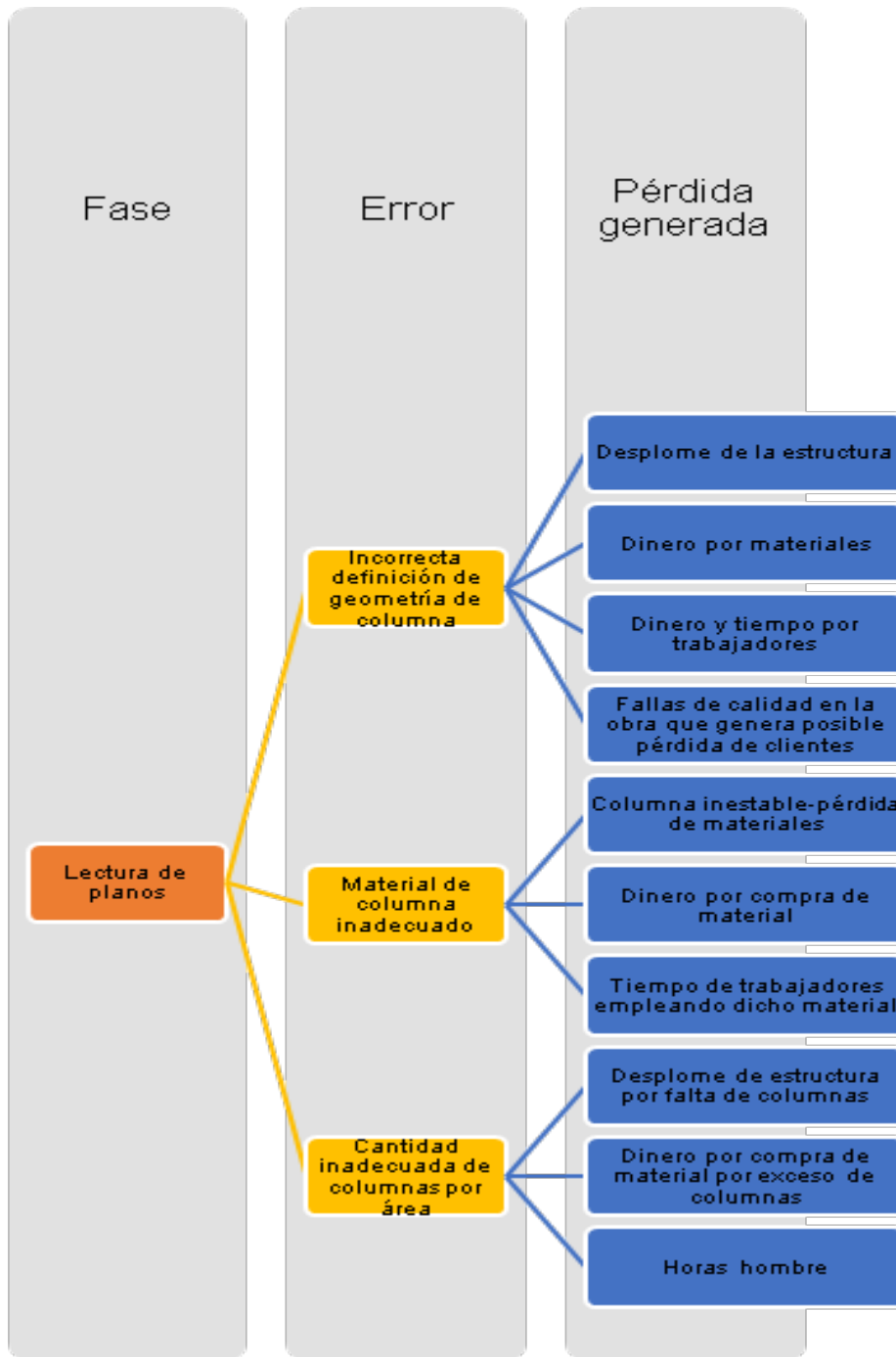
7.3.1. Lectura de planos

En la lectura de planos, se toman las decisiones más importantes porque en este punto es en donde se analizan las características, insumos y demás recursos que se requieran para la construcción de la columna de concreto según las condiciones y tipo de infraestructura a ejecutar. Es por esto que para evitar el mínimo desperdicio y/o pérdidas, se debe realizar de forma cuidadosa por parte de los ingenieros, supervisores y maestros para que no se cometan errores.

Las pérdidas en este punto, no se perciben porque el elemento que interviene son las horas hombres de las personas que analizan los planos, pero en el esquema presentado en la figura 6 se mostrará que una mala lectura del plano, generaría la pérdida de la columna y mayores porque se pone en riesgo la construcción y otros elementos como la vida de quienes hacen o harán parte de esta.

Los costos ante la incorrecta lectura de planos van desde la pérdida de algunos materiales u horas hombres hasta la pérdida de toda la edificación porque si se trabaja construyendo con fallas en su estructura, por seguridad de quienes conviven, se debe derrumbar toda la edificación traduciéndose en la pérdida de todo lo trabajado. La pérdida de la columna tiene un costo aproximado de \$2.000.000, en donde se incluye el valor por los materiales que son varillas, cemento, arena, triturado, dos días de trabajo de obreros, alquiler de utensilios, esto sin incluir los gastos por administración, imprevistos y utilidades.

Figura 6. Efectos de mala lectura de planos



Fuente: Autor

7.3.2. Cimbrada de la columna

Esta actividad, es base para el levantamiento de la columna porque este es el punto de referencia para saber si la columna está quedando con la rectitud que debe quedar para que sea de soporte para la edificación. En este proceso, intervienen herramientas, equipos y mano de obra que pueden generar las siguientes pérdidas si no se tiene control sobre estos:

- **Material:** si la cimbra no cumple con su función de ser guía en el levantamiento de la columna, se incurre en pérdida del material que se empleará porque la columna no será estable y se desplomará con cualquier sobreesfuerzo.
- **Horas hombre:** el tiempo que utilizan los trabajadores haciendo actividades teniendo como guía una cimbra incorrecta y mal ubicada, es un factor de pérdida importante porque es un costo que no se puede recuperar.
- **Calidad:** si se emplea una cimbra inadecuada, la columna presentará problemas de calidad porque no podrá cumplir su función de soporte en la infraestructura.
- **Dinero:** todas las demás pérdidas, se traducen igualmente en pérdidas de dinero porque se incurre en gastos por la cimbra mal escogida, el material, el tiempo pagado a los trabajadores y pérdida de ingresos si no se cuenta con una infraestructura de calidad.

7.3.3. Armado de refuerzo

El refuerzo es un componente importante porque en este se pueden cubrir ciertas fallas que se hayan presentado en el camino de la construcción de la columna. Un buen refuerzo hace que le dé la estabilidad a la columna y se pueda continuar con el proceso de forma correcta.

Tabla 4. Pérdidas en el armado de refuerzos

Factor	Descripción
Tiempo	Horas hombre instalando estribos equivocados
Costos	Estribos de material de mala calidad
	Estribos que no cumplen con las especificaciones para la columna a construir
	Herramientas que no contribuyen al correcto reforzamiento de las varillas
	Pérdida de concreto vertido por estribos mal instalados
Calidad	Columna con poca estabilidad
	Infraestructura inestable

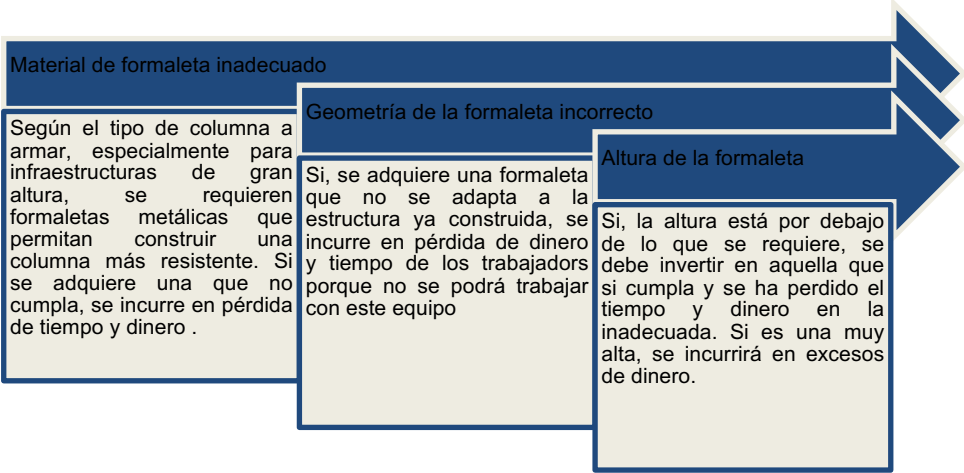
Fuente: Autor

7.3.4. Ubicación de formaleta

La formaleta o encofrado, es aquello que permite que la columna tome la forma adecuada para que sea soporte de la infraestructura. Escoger la formaleta adecuada y la correcta instalación es una actividad decisiva puesto que de esto depende que la columna tenga el acabado que se necesita. En esta actividad, por ser un elemento de altura y que da forma, se deben tener claras sus especificaciones, de lo contrario se convierte en pérdida de tiempo escogiendo un sistema de encofrado que no se adapte a la estructura ya armada además de la pérdida de dinero tanto por el alquiler o compra de la formaleta, es significativo y por esto se debe tomar bien la decisión de qué tipo de formaleta utilizar.

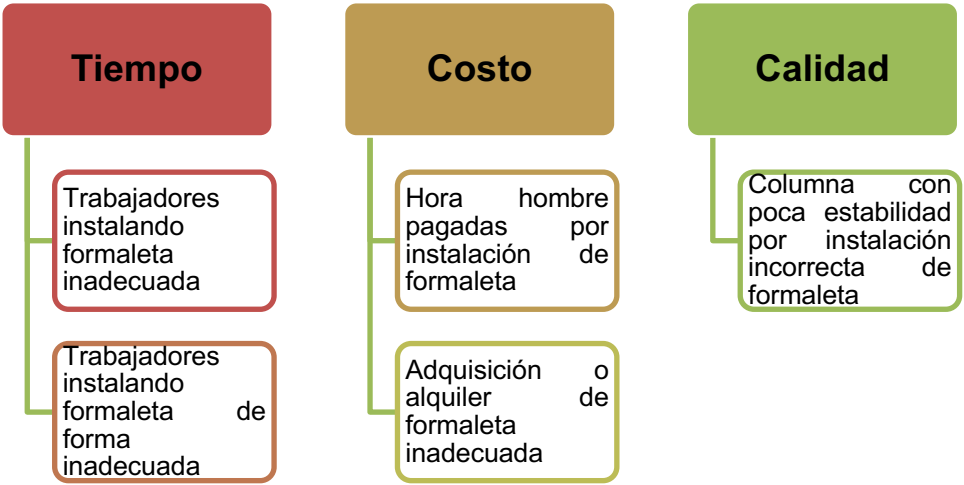
Hay dos escenarios con la formaleta que son generadores de pérdidas en el proceso constructivo, uno de estos ligados con el tipo de formaleta escogida y el otro con la instalación de la misma, cuya representación se hace en las figuras 6 y 7 respectivamente.

Figura 7. Pérdidas por tipo de formaleta escogida



Fuente: Autor

Figura 8. Pérdida por instalación de formaleta

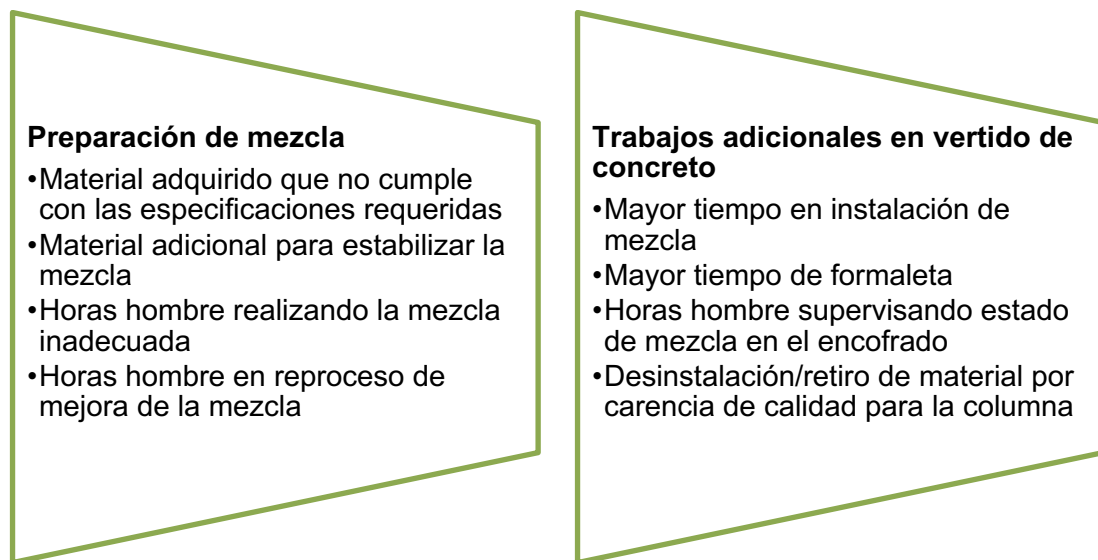


Fuente: Autor

7.3.5. Vertido de concreto

Esta actividad dentro del proceso constructivo de la columna está dividida en dos momentos que presentan pérdidas que son de gran inversión para la empresa. La primera es respecto a la realización de la mezcla de concreto que formará la columna y la segunda es en el momento del vertido, teniendo en estas actividades las siguientes posibles pérdidas.

Figura 9. Pérdidas en vertido de concreto



Fuente: Autor

7.3.6. Retiro de formaleta

El retiro de la formaleta, se debe hacer en el tiempo adecuado una vez la mezcla lo permita, de lo contrario se derrumbaría la columna. Las pérdidas en este punto de la construcción de la columna, se resumen en costos si se retira la formaleta, cuando el concreto aún no está listo, puede perderse todo el material y trabajo realizado porque no la columna quedaría inestable o la otra opción es horas hombre en caso de requerir de nuevo la instalación de la formaleta para mantener la columna encofrada por otro tiempo.

7.3.7. Fraguado

El proceso de fraguado, está asociado con el tiempo que requiere la columna para secarse y esté en su punto ideal en donde ofrezca resistencia y se pueda continuar con las columnas superiores. El fraguado, cuando sólo se ha construido una columna, en caso de no ser exitosos, tiene como pérdidas el trabajo asociado a esa sola columna pues es la última actividad en este proceso.

Para que sea exitoso, depende de cada una de las actividades mencionadas en los numerales anteriores porque esta actividad consume es tiempo y horas hombre por supervisión, es decir que si los materiales, equipos y desarrollo de las actividades se hicieron de forma correcta, se espera una columna de concreto que cumpla con las especificaciones para que sirva de apoyo en la edificación. La condición que podría afectar esta actividad es la climática porque en temporadas muy húmedas, se tardaría en más días el secado.

7.3.8. Análisis

Todas estas actividades son críticas porque una mala ejecución implica perdidas de dinero por material, horas hombre y calidad en la obra. Cada nuevo nivel de columna que se realiza, es decir, cada aumento en altura tanto en la columna como en los pisos de la edificación, traen más riesgos si sus columnas no son las adecuadas.

Desde las bases del primer piso especialmente porque en caso de presentarse fallas de los primeros niveles, estando en niveles superiores las pérdidas económicas, de tiempo incluso de vidas humanas podrían ser muy graves. Es por esto, que la planeación en la ejecución de esta actividad, debe ser muy detallada y debe contar con los recursos adecuados para que no se vea afectada la calidad de la obra.

7.3.9. Análisis del Investigador

Una planeación equivocada, es la principal causa de pérdidas en la construcción de columnas porque un proceso como este, en donde este elemento que es el soporte de la infraestructura esté mal desarrollado, lleva a que se tengan pérdidas en todos los demás procesos porque no tendrán en donde sostenerse. La mala planeación implica pérdida no sólo de la columna elaborada también de la edificación.

El criterio que se tiene en cuenta para esta decisión se fundamenta en todos los elementos involucrados en la figura 6 que habla de la lectura de planos, porque es en este punto en donde los ingenieros y maestros realizan el análisis y planean todos los insumos los requeridos para que la columna cumpla con las características definidas en el plano, que debe estar correctamente trazado para que no hayan fallas cuando se esté construyendo. En los tres escenarios de mala interpretación de los planos (incorrecta definición de la geometría, material de columna inadecuado, cantidad inadecuada de columnas por área), se ven explícitos los posibles gastos o pérdidas que van desde la pérdida de horas hombre y materiales hasta la completa demolición o destrucción de la columna.

En esta proporción, los costos van desde las horas hombre trabajadas que serían dos obreros con un salario integral de \$45.000-\$50.000 día, es decir \$100.000 diarios hasta el valor total de la columna que como se mencionó en el apartado de lectura de planos, está alrededor de \$2.000.000 con mano de obra, esto sin contar con los gastos por administración de los ingenieros y demás supervisores que estuvieron involucrados en la revisión, previo a la ejecución.

7.4. Análisis de actividades en proceso constructivo de columna de concreto

7.4.1. Generalidades

El proceso constructivo de columna de concreto tiene actividades muy específicas que requieren de un análisis detallado para encontrar aquellas que generan y no generan valor. Es por esto que el estudio se hará detallando por cada paquete de trabajo (para este caso son lectura de planos, cimbrada de la columna, armado de refuerzo, ubicación formaleta, vertido de concreto, retiro de formaleta y fraguado), aquello que se considera como residuos (todo lo que no genera valor a las actividades necesarias para completar una unidad productiva) según el estudio realizado por Al-Aomar¹⁷ y lo contrario como aquello que contribuye a completar la unidad productiva que se clasificará como contributivo y productivo¹⁸

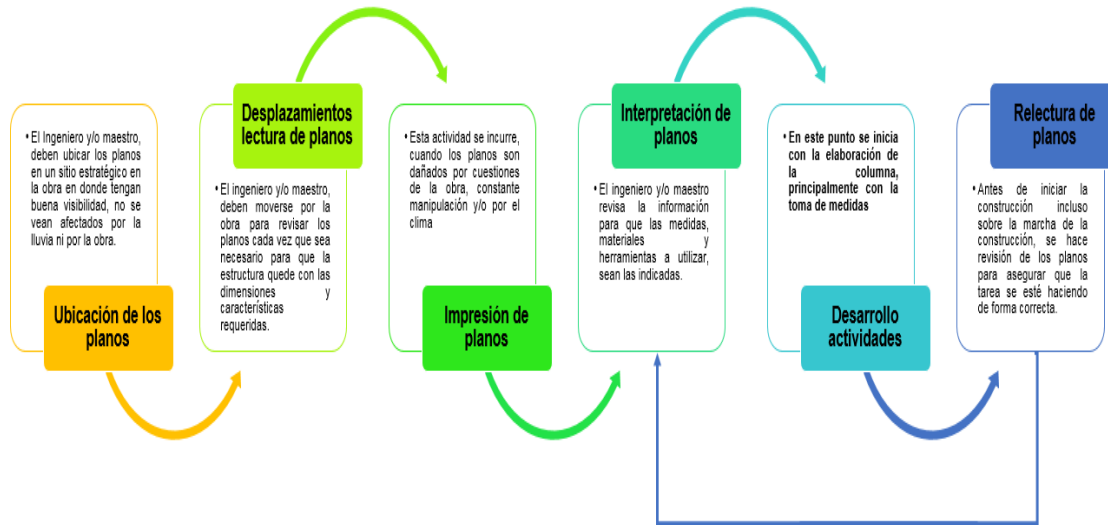
7.4.2. PDT Plan de trabajo Lectura de planos

La lectura de planos es un trabajo importante en el desarrollo de la columna de concreto considerando que de allí depende que el levantamiento de la misma, cumpla con las características para que sea el soporte correcto para el edificio. Bajo esto se describen las actividades de este trabajo, como se muestra en el siguiente esquema.

¹⁷ AL-AOMAR, R. Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction. En: Lean Construction Journal. 2012. p. 105-121.

¹⁸ BOTERO, L. Lean Construction (aplicación al caso colombiano), Op. Cit.

Figura 10. Actividades en PDT Lectura de planos



Fuente: Autor

7.4.2.1 Ubicación de los planos

- Actividades que no agregan valor

Tabla 5. Trabajo no contributivo en la ubicación de planos

Desperdicios según AI-Aomar	Desperdicios en ubicación de planos	Descripción
Defectos	Planos con escala incorrecta Planos con medidas inapropiadas Área de ubicación inapropiada	Desde el diseño de los planos en el programa en el momento de la impresión se estarán trabajando sobre medidas y/o referencias equivocadas, convirtiéndose desde el inicio en una actividad que no genera valor. Adicional, un área de ubicación inadecuada hará que se dañen rápido con la manipulación.
Demoras	Indecisión en la ubicación de los planos.	Esto retrasa la actividad en obra porque no se tiene definido el sitio estratégico para visualizar e interpretar los planos
Excesos procesado de	Reubicaciones de los planos en la obra	Los planos son movidos por la obra, haciendo que se incurra en repetidas ocasiones de una nueva ubicación

Exceso de producción	No aplica para este punto	N/A
Inventarios excesivos	Compra de nuevos insumos	Las reubicaciones de los planos, hacen que se pierdan los insumos para su ubicación, recurriendo a la compra de nuevos
Transporte innecesario	Desplazamientos de insumos de planos (impresión, reglas, lápices y demás herramientas)	Los movimientos repetitivos, desplazando y ubicando los planos, hace que se incurra en transporte de los recursos (planos, reglas, esferos)
Movimiento no útil de personas	Traslados continuos de las personas para ubicar estratégicamente los planos	Los planos son cambiados constantes de posición porque no tienen un área definida para ubicarlos

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 6. Trabajo contributivo y productivo en la ubicación de planos

Valor agregado	Actividades contributivas en ubicación de planos	Descripción
Contributivo	Identificación de área adecuada	La definición de un espacio físico, en donde facilite el movimiento del personal involucrado en la lectura, permitirá reducir los tiempos de desplazamiento y la compra de insumos incluso de impresión de planos.
Contributivo	Adecuación área adecuada	El arreglo del área en donde se ubicará el plano permitirá que este se encuentre protegido de cualquier inclemencia, contribuyendo a disminuir costos por compra de insumos y tiempo por la adquisición de estos.
Productivo	Ubicación del plano	La actividad de instalación del o los planos dentro de la obra, reducirá los tiempos de desplazamientos y los insumos servirán durante la ejecución de la obra.

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.2.2 Desplazamientos lecturas de planos

- Actividades que no agregan valor

Tabla 7. Trabajo no contributivo en el desplazamiento para lecturas de planos para la construcción de columna de concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios Desplazamientos en planos	en lectura Descripción
Demoras	Retrasos en la lectura de planos	Trayectos distantes desde la actividad a realizar y la ubicación del plano
Excesos de procesado	Repetitivos desplazamientos	Constantes desplazamientos para la revisión de los planos
Transporte innecesario	Planos alejados de la obra	Realización de varios desplazamientos para lecturas de planos
Movimiento no útil de personas	Varios ingenieros/maestros dirigiéndose a la lectura de los planos	Desplazamientos de varias personas para leer un mismo plano

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 8. Trabajo contributivo y productivo en el desplazamiento para lectura de planos para la construcción de columna de concreto

Valor agregado	Actividades contributivas en desplazamiento lectura	Descripción
Contributivo	Identificación de persona que se desplazará para la lectura de los planos	Se escoge a la persona (o dos máximo) indicada que pueda entender los planos y transmitir la interpretación para que se haga en un solo desplazamiento
Productivo	Un desplazamiento para revisión de los planos	La persona indicada hace el desplazamiento para interpretar los planos y dar las instrucciones sobre el paso a seguir

7.4.2.3 Impresión de planos

- Actividades que no agregan valor

Tabla 9. Trabajo no contributivo en la impresión de planos para la construcción de columna de concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en la impresión de planos	Descripción
Defectos	Tinta de mala calidad Papel de baja resistencia Plano con escala equivocada	Al imprimir el plano, se corre el riesgo de que por la impresora, papel o tinta, este salga defectuoso
Demoras	Tiempo gastado en reimpresión de planos	La necesidad de planos, hace que se requiera realizar la actividad de impresión de nuevo, retrasando las actividades de obra
Exceso de producción	Reimpresión de planos	Cuando los planos salen con defectos en la impresión, se requiere la reimpresión para tener planos claros que orienten en la obra
Inventarios excesivos	Planos adicionales	Excesos de planos impresos para cubrir aquellos que se dañen por la obra
Movimiento no útil de personas	Desplazamiento de personal para impresión de planos	Tiempo gastado en el personal de obra u externo que se dirige o realiza la impresión de los planos

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 10. Trabajo contributivo y productivo en la impresión de planos

Valor agregado	Actividades contributivas en la impresión de planos	Descripción
Contributivo	Desplazamiento para impresión de planos	Se realiza un solo movimiento de personal y equipos para impresión de planos por frente de trabajo
Productivo	Impresión de planos necesarios	Una sola ida para impresión de los planos requeridos por frente de trabajo

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.2.4 Interpretación de planos

- Actividades que no agregan valor

Tabla 11. Trabajo no contributivo en la interpretación de planos para la construcción de columna de concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en interpretación de planos	Descripción
Demoras	Escalas y convenciones de los planos no claras	En algunas ocasiones, las demoras en la interpretación se dan porque las escalas y convenciones no se ven bien o no están bien definidas dentro del plano
Excesos procesado de	Relectura de planos	Debido a las escalas, convenciones o poca claridad en el tipo de estructura, se realizan varias lecturas de los planos, esto debido a la falta de planeación o entendimiento de la infraestructura
Movimiento no útil de personas	Desplazamientos personal de	Los ingenieros y/o maestros realizan movimientos durante la obra que cuando no están seguros de las dimensiones o características, se convierte en trabajo no contributivo.

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 12. Trabajo contributivo y productivo en la interpretación de planos para la construcción de columna de concreto

Valor agregado	Actividades contributivas en interpretación de planos	Descripción
Contributivo	Análisis previo de los ingenieros	El estudio de los planos por parte de los ingenieros, si bien no tienen la decisión definitiva en la primera revisión, en su análisis, se contribuye a que se inicie el proceso de forma correcta
Productivo	Interpretación del plano- Decisiones de medidas y recursos	La divulgación del análisis y la asignación de las tareas, es el primer paso importante productivo en el proceso de construcción de la columna

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.2.5 *Desarrollo de actividades*

El desarrollo de las actividades en la construcción de la columna de concreto, cuentan con sus trabajos contributivos y no contributivos que se describirán en el desarrollo de este numeral. Se involucra en el PDT lectura de planos, porque durante el proceso, para los ingenieros se hace necesaria la relectura para confirmar información que ya habían leído desde un inicio.

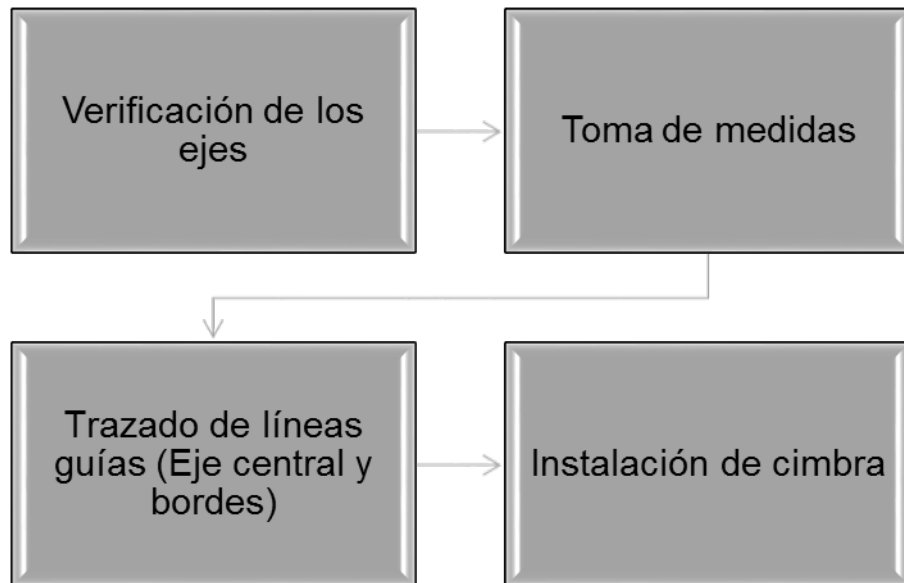
7.4.2.6 *Relectura de planos*

La relectura de planos se convierte en un trabajo contributivo si esta se hace para confirmar información ya leída o interpretada para poder avanzar con la construcción, caso contrario es si es para verificar datos cuando se ha presentado un error o una falla que generó algún tipo de desperdicio sea por defecto, demoras, excesos, transportes o movimientos innecesarios.

7.4.3. PDT Plan de trabajo Cimbrada de columna

La cimbrada de la columna, es el proceso que permite a los ingenieros, maestros, oficiales y obreros, tener la guía para construir la columna y que está cumpla con las condiciones de rectitud y alineación para que sea estable y sea de apoyo en la estructura. Para esto se realizan las actividades que se muestran en la figura 11 y de las que se mostrarán aquello que genera y no genera valor.

Figura 11. Actividades en el PDT cimbrada de la columna



Fuente: Autor

7.4.3.1 Verificación de ejes

- Actividades que no agregan valor

Tabla 13. Trabajo no contributivo en la verificación de ejes para la construcción de columna de concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en verificación de ejes	Descripción
Defectos	Ejes mal ubicados	Los ejes pueden venir o estar con mala ubicación requiriendo esfuerzos adicionales para mejorar su ubicación
Demoras	Falta de herramientas para verificación	El desorden en obra, hace que se retarde la verificación de ejes por falta de herramientas visibles y a la mano
Excesos de procesado	Revisión repetitiva de los ejes	Algunos encargados de la obra, verifican muchas veces los ejes sin llegar a una conclusión diferente
Movimiento no útil de personas	Desplazamientos de ingenieros y maestros	Maestros y obras revalidan los ejes definidos en los planos

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 14. Trabajo contributivo y productivo en la verificación de ejes para la construcción de columna de concreto

Valor agregado	Actividades contributivas en la verificación de ejes	Descripción
Contributivo	Ingenieros/maestros revisando los planos	La verificación por medio de planos, permite asegurar que los ejes verificados sean los correctos
Productivo	Verificación de los ejes	Revisión de ejes (dos veces máximo) para verificar que la columna se construirá en el área adecuada

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.3.2 Toma de medidas

- Actividades que no agregan valor

Tabla 15. Trabajo no contributivo en la toma de medidas para cimbrada de la columna de concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en toma de medidas	Descripción
Demoras	Retrasos en las actividades	Retrasos en las actividades por la demora en la medición de los ejes por falta de seguridad en la interpretación de los planos
Excesos de procesado	Dobles mediciones	Falta de seguridad en las mediciones realizadas inicialmente
Movimiento no útil de personas	Desplazamientos de maestros	Movimientos en búsqueda de las herramientas como metro, marcadores y demás que requieren para la medición.

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 16. Trabajo contributivo y productivo en la toma de medidas para cimbrada de la columna de concreto

Valor agregado	Actividades contributivas en toma de medidas	Descripción
Contributivo	Alistamiento de herramientas	Preparación de los elementos requeridos como metro, marcadores, etc.
Productivo	Toma de mediciones	Definición de medidas de los ejes y bordes de la columna

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.3.3 Trazado de líneas guías

Tabla 17. Trabajo no contributivo en el trazado de líneas guías para la columna de concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en trazado de líneas guías	Descripción
Defectos	Líneas guías mal trazadas Medidas mal tomadas	Las guías para la construcción de la columna no son las adecuadas porque fueron trazadas de forma incorrectas sea por defectos en las herramientas o por insumos de mala calidad
Inventarios excesivos	Exceso de material de cimbra	En obra ocurre que se compra material en exceso que puede ser utilizado para otra obra o que puede dañarse y no ser posible su uso posterior
Movimiento no útil de personas	Trabajadores reubicándose	Movimientos repetitivos de los trabajadores, definiendo

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 18. Trabajo contributivo y productivo en el trazado de líneas guías para la columna de concreto

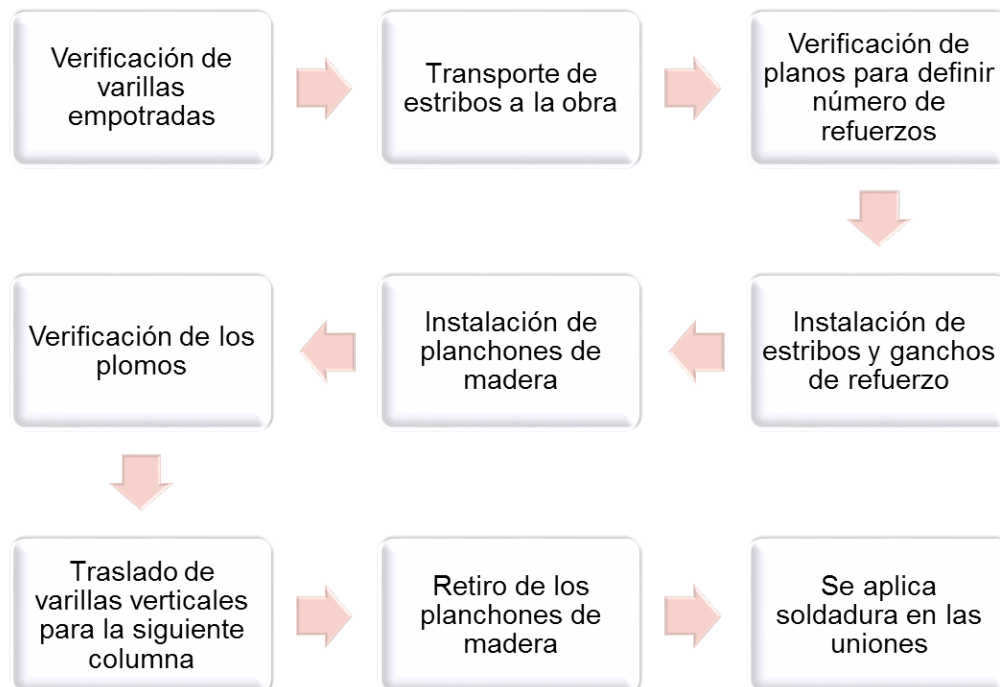
Valor agregado	Actividades contributivas en trazado de líneas guías	Descripción
Contributivo	Traslado de la cimbra	Movimiento de la cimbra al lugar de ubicación
Productivo	Trazado de líneas guías	Actividad de ubicar la cimbra y definirlas en el área de levantamiento de la columna

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.4. PDT Armado de refuerzo

Esta actividad, asegura que las varillas de las columnas tengan resistencia para soportar el peso de la estructura. Es por esto que la actividad es de relevancia y cada paso a paso debe ejecutarse de forma adecuada (este paso a paso se muestra en la siguiente figura)

Figura 12. Estructura PDT Armado de refuerzo



Fuente: Autor

7.4.4.1 Verificación de varillas empotradas

- Actividades que no agregan valor

Tabla 19. Trabajo no contributivo en la verificación de las varillas empotradas

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en verificación de varillas	Descripción
Defectos	Varillas mal empotradas	La varillas que estén mal empotradas, requerirán reajuste
Demoras	Enderezar varillas mal empotradas	El tiempo invertido en el arreglo de las varillas mal empotradas, hará que se generen demoras en la construcción de la columna
Excesos de procesado	Numerosas revisiones de las varillas empotradas	Revisión de las varillas para verificar que tengan la rectitud que se requieren para continuar con la estructura

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 20. Trabajo contributivo y productivo en la verificación de varillas empotradas

Valor agregado	Actividades contributivas verificación varillas empotradas	Descripción
Productivo	Verificación por una sola vez de las varillas empotradas	Cuando se tienen correctas mediciones y procesos terminados correctamente, solo se requiere de una sola verificación que se convierte en trabajo contributivo

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.4.2 Transporte de estribos a la obra

- Actividades que no agregan valor

Tabla 21. Trabajo no contributivo en transporte de estribos

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en transporte de estribos	Descripción
Demoras	Grúa o vehículo de transporte de estribos, no listo Totalidad de estribos requeridos no listos	Los estribos están listo pero no se tiene el vehículo para transportarlos, retrasando la obra Los proveedores no cuentan con la totalidad de estribos requeridos
Excesos de procesado	Varios transportes innecesarios de estribos a la obra	Falta de cálculo de estribos necesarios a la obra, teniendo excedentes o faltas de los mismos en donde se incurrió en transportes innecesarios
Movimiento no útil de personas	Trabajadores recogiendo los estribos	Desconocimiento de la cantidad de estribos requeridos, haciendo que los obreros realicen

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 22. Trabajo contributivo y productivo en el transporte de estribos

Valor agregado	Actividades contributivas en transporte de estribos	Descripción
Contributivo	Logística con proveedores para suplir la cantidad de estribos requeridos	La gestión alrededor de los proveedores para que provisionen los estribos requeridos
Contributivo	Adecuación de la grúa para trasladar los estribos	La grúa debe estar preparada y adecuada para mover los estribos que lleguen de los proveedores
Contributivo	Trabajadores acomodando los estribos en la obra	Para que la grúa pueda transportar los estribos, deben estar en un mismo lugar que son ubicados por las trabajadores
Productivo	Movimiento de grúa con estribos para armado de refuerzo	La actividad de traslado desde el depósito de los estribos hasta el sitio de la obra que se requieren, es la actividad principal y por ende la productiva

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.4.3 Verificación de planos para definir número de refuerzos

- Actividades que no agregan valor

Tabla 23. Trabajo no contributivo en verificación de planos para definir número de refuerzos

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en verificación cantidad refuerzos	Descripción
Demoras	Retrasos en la obra por revisiones	Los excesos de revisiones retrasan la ejecución de la obra
Excesos de procesado	Numerosas verificaciones de los planos	Los maestros/ingenieros verifican varias veces los planos para validar la cantidad de refuerzos según las características de la varilla y la estructura a soportar, esto debido a que los materiales fueron los inadecuados o hubo alguna planeación equivocada

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 24. Trabajo contributivo y productivo en verificación de planos para definir número de refuerzos

Valor agregado	Actividades contributivas en verificación cantidad refuerzos	Descripción
Productivo	Definición de números de estribos	Esta actividad es productiva cuando la revisión se hace dos veces. Más verificaciones, es muestra de una mala planeación o mala realización de las actividades previas.

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.4.4 Instalación de estribos y ganchos de refuerzo

- Actividades que no agregan valor

Tabla 25. Trabajo no contributivo en instalación de estribos y ganchos de refuerzo

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en instalación de estribos	Descripción
Defectos	Estribos y ganchos mal instalados u con desperfectos	Los estribos y/o ganchos con desperfectos, torcidos y sin las condiciones para asegurar las varillas. Esto hace que el refuerzo no sea el indicado, se deba volver a realizar o se pueda caer la estructura
Demoras	Retrasos por instalación	La instalación de los estribos puede alargarse cuando estos elementos no son los indicados para el tipo de varilla o estructura y los trabajadores deben hacer esfuerzos para que el refuerzo quede bien elaborado
Excesos de procesado	Realización de nuevos refuerzos	Cuando el refuerzo no queda seguro, se deben hacer nuevos refuerzos
Movimiento no útil de personas	Traslado de personas cuando se requieren más estribos para los refuerzos	Cuando se requieren más esfuerzos, se requiere mayores movimientos de los trabajadores para trasladar los estribos.

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 26. Trabajo contributivo y productivo en instalación de estribos y ganchos de refuerzo

Valor agregado	Actividades contributivas en instalación de estribos	Descripción
Contributivo	Alistamiento de herramientas	La instalación de estribos y ganchos requiere de herramientas para reforzar
Productivo	Instalación de estribos y refuerzos	Con los refuerzos del material adecuado, en las cantidad requeridas y con las herramientas listas, el trabajo de los obreros, genera valor al proceso de construcción de la columna.

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.4.5 Instalación de planchones de madera

- Actividades que no agregan valor

Tabla 27. Trabajo no contributivo en la instalación de planchones de madera

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en la instalación de planchones	Descripción
Defectos	Planchones dañados o desperfectos	Los planchones en malas condiciones no hacen posible la actividad
Inventarios excesivos	Exceso de planchones en la obra	En las obras se tienen excesos de planchones que afectan la movilidad en la obra
Movimiento no útil de personas	Trabajadores moviendo planchones	Cuando los planchones no son seguros o están defectuosos, los trabajadores deben moverlos de la obra

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 28. Trabajo contributivo y productivo en instalación de planchones

Valor agregado	Actividades contributivas en instalación planchones	Descripción
Contributivo	Logística de planchones en la obra	La gestión alrededor de tener los planchones en la obra
Productivo	Instalar planchones	Instalar los planchones para continuar con la construcción de la columna

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.4.6 Verificación de los plomos

- Actividades que no agregan valor

Tabla 29. Trabajo no contributivo en verificación de los plomos

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en verificación plomos	Descripción
Excesos de procesado	Numerosas verificaciones de plomos	Cuando la actividad de instalación de refuerzos, tuvo fallas, los plomos no quedan alineados, requiriendo la realización de ajustes en los refuerzos y volviendo a realizar la verificación de plomos

Movimiento no útil de personas	Trabajadores realizando las nuevas verificaciones de plomos	Implica cuando se requieren de nuevas revisiones de los plomos cuando algún refuerzo quedó mal instalado
---------------------------------------	---	--

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 30. Trabajo contributivo y productivo en verificación de plomos

Valor agregado	Actividades contributivas en verificación de plomos	Descripción
Contributivo	Alistamiento de materiales y herramientas	Para la verificación de plomos, se requieren los insumos listos al lado de la columna
Productivo	Verificación de plomos	Actividad para validar que la columna está quedando de forma uniforme

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.4.7 *Traslado de varillas verticales para la siguiente columna*

- Actividades que no agregan valor

Tabla 31. Trabajo no contributivo en traslado de varillas

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en traslado de varillas	Descripción
Demoras	No disponibilidad de varillas	La falta de logística en la adquisición de las varillas, genera retraso en la obra
Transporte innecesario	Movimiento de varillas que no cubren las necesitadas en la obra	Cuando se trasladan varillas en cantidad mayores a las requeridas, se incurre en tiempo para sacarlas de la obra. Cuando hay faltantes de varillas, se debe invertir tiempo en el nuevo traslado
Movimiento no útil de personas	Trabajadores reubicando las varillas que no se utilizarán	Tiempo de los trabajadores sacando las varillas que no se emplearán

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 32. Trabajo contributivo y productivo en traslado de varillas

Valor agregado	Actividades contributivas en traslado de varillas	Descripción
Contributivo	Logística de adquisición de varillas	La gestión alrededor de los proveedores para que se tengan las varillas requeridas
Contributivo	Adecuación de la grúa para trasladar las varillas al sitio de la obra	La grúa debe estar adaptada para que pueda tomar las varillas y desplazarlas a la obra
Productivo	Traslado de las varillas con la grúa hacia el sitio de la obra	Cuando las varillas ya están listas, la grúa toma las varillas y las mueve al sitio de obra

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.4.8 Retiro de los planchones de madera

- Actividades que no agregan valor

Tabla 33. Trabajo no contributivo en retiro de planchones de madera

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en retiro de planchones	Descripción
Defectos	Planchones dañados o desperfectos	Los planchones en malas condiciones no hacen posible la actividad
Inventarios excesivos	Exceso de planchones en la obra	En las obras se tienen excesos de planchones que afectan la movilidad en la obra
Movimiento no útil de personas	Trabajadores moviendo planchones	Varias personas moviéndose para quitar los planchones mientras quitan los planchones

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 34. Trabajo contributivo y productivo en retiro de planchones

Valor agregado	Actividades contributivas en retiro de planchones	Descripción
Contributivo	Trabajadores ubicándose para quitar los planchones	Los trabajadores se bajan de los planchones para que se puedan retirar. La ubicación de los trabajadores que retirarán los planchones
Productivo	Retiro de planchones	La desinstalación de los planchones

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.4.9 Aplicación soldadura en las uniones

- Actividades que no agregan valor

Tabla 35. Trabajo no contributivo en aplicación de soldaduras en uniones

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en aplicación soldadura en uniones	Descripción
Defectos	Barras de soldadura de mala calidad Uniones mal elaboradas	Las barras de soldadura de mala calidad hacen que las uniones no queden bien realizadas La poca experiencia de los trabajadores en las uniones, hacen que las uniones queden mal elaboradas
Excesos de procesado	Reprocesos en aplicación de soldadura	Para asegurar los esfuerzos, en algunas ocasiones se debe aplicar más soldaduras para que queden más fijas
Inventarios excesivos	Barras de soldadura	Los excesos en las barras de soldadura
Transporte innecesario	Traslado de soldaduras	El exceso de soldadura, implica traslados innecesarios para regresarla El faltante de soldadura, implica nuevos desplazamientos para obtenerla En las barras de soldadura, no se tiene una cantidad exacta proyectada
Movimiento no útil de personas	Desplazamientos de los trabajadores	El tiempo invertido por los trabajadores en los traslados de las soldaduras

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 36. Trabajo contributivo y productivo en aplicación de soldaduras en uniones

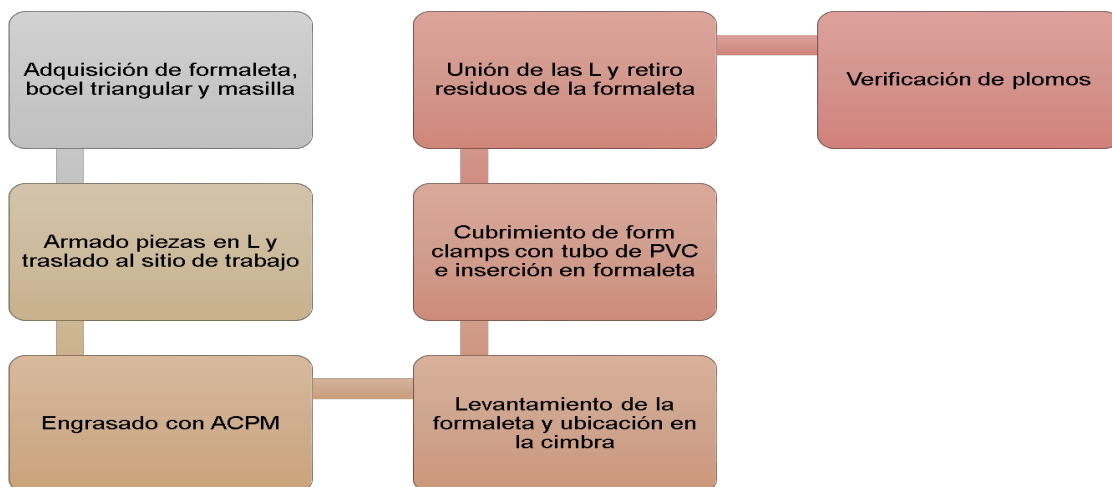
Valor agregado	Actividades contributivas en aplicación soldaduras	Descripción
Contributivo	Logística de herramientas y materiales para las uniones	El movimiento del equipo soldador y de las barras exactas requeridas, hace parte del trabajo contributivo, iniciando desde su adquisición o alquiler hasta la ubicación en la obra
Productivo	Soldadura de uniones	El desarrollo de la actividad de soldadura de las uniones para reforzar la estructura de la columna

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.5. PDT Ubicación de formaleta

El aseguramiento para que la columna quede con las características requeridas, se da con la correcta ubicación de la formaleta que le dará forma y permitirá que el vertido de concreto se dé de forma satisfactoria. Este paquete de trabajo se ha organizado en 10 actividades que se presentan en la figura 13.

Figura 13. Estructura PDT ubicación de formaleta



Fuente: Autor

7.4.5.1 Adquisición formaleta, bocel triangular y masilla

- Actividades que no agregan valor

Tabla 37. Trabajo no contributivo en adquisición de insumos formaleta

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios adquisición insumos formaleta	Descripción
Demoras	Proveedor sin insumos	La adquisición de estos tres insumos se da con tres proveedores distintos, lo que hace que se generen demoras para tenerlos al mismo tiempo en la obra
Inventarios excesivos	Masilla excedente o faltante	La cantidad precisa de masilla es difícil de proyectar y normalmente se excede, llegando al desperdicio porque este producto se vuelve inservible si no está en condiciones óptimas de almacenado
Transporte innecesario	Traslado de formaleta e insumos hasta la obra	Este desplazamiento, es realizado en su mayoría por los proveedores quienes son los que dejan los elementos requeridos en la obra. Si lo hace la empresa constructora, es un desperdicio en tiempo y dinero

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 38. Trabajo contributivo y productivo en adquisición de insumos formaleta

Valor agregado	Actividades contributivas en insumos formaleta	Descripción
Contributivo	Negociación con proveedor	Los acuerdos alrededor de la adquisición de los elementos hace parte del trabajo contributivo
Productivo	Ubicación de insumos en la obra	Los trabajadores ubicando los elementos adquiridos para utilizar dentro de la obra, genera valor porque estando bien organizados, se tienen los elementos para que haya continuidad en la misma

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.5.2 Armado piezas en L y traslado sitio trabajo

- Actividades que no agregan valor

Tabla 39. Trabajo no contributivo en armado piezas en L y traslado sitio trabajo

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en armado piezas	Descripción
Defectos	Piezas con medidas incorrectas o mal aseguradas	Piezas en L no aseguradas que pueden abrirse o con alturas equivocadas
Transporte innecesario	Piezas con medidas incorrectas	Si las piezas no encajan, el movimiento de las piezas es un desperdicio porque no servirán para armar el encofrado

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 40. Trabajo contributivo y productivo en armado piezas en L y traslado sitio trabajo

Valor agregado	Actividades contributivas en armado piezas en L	Descripción
Contributivo	Movimiento de insumos para armar el encofrado	La gestión para que los elementos estén en la obra, es una actividad contributiva
Productivo	Encaje de las piezas	Trabajadores cuadrando las piezas de la formaleta
Productivo	Desplazamiento sitio trabajo	Una vez las piezas armadas, éstas se llevan a la obra para que sean engrasadas

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.5.3 Engrasado con ACPM

- Actividades que no agregan valor

Tabla 41. Trabajo no contributivo en engrasado con ACPM

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en engrasado con ACPM	Descripción
Excesos de procesado	Engrase excesivo de la formaleta	Las formaletas se engrasan en exceso en algunas ocasiones, siendo esto un desperdicio de tiempo por parte de los trabajadores

Inventarios excesivos	ACPM en exceso	La cantidad de ACPM requerido no es precisa y quedan sobrantes del mismo
Movimiento no útil de personas	Trabajadores engrasando en exceso	El movimiento de los trabajadores cuando ya se ha engrasado lo suficiente, se convierte en desperdicio

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 42. Trabajo contributivo y productivo en engrasado con ACPM

Valor agregado	Actividades contributivas en engrasado con ACPM	Descripción
Contributivo	Adquisición y traslado de ACPM requerido a la obra	El ACPM se requiere y el llevarlo a la obra es una actividad que agrega valor
Productivo	Engrasado de las piezas	La actividad de engrasado es requerida y cuando se hace en la proporción necesaria, se genera valor

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.5.4 *Levantamiento de la formaleta y ubicación en la cimbra*

- Actividades que no agregan valor

Tabla 43. Trabajo no contributivo en levantamiento y ubicación de formaleta

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en levantamiento formaleta	Descripción
Demoras	Grúa no disponible o lista	El retraso en el levantamiento y ubicación de la formaleta se puede dar porque la grúa u objeto que la levantará no esté en condiciones
Transporte innecesario	Grúa en el sitio y formaletas no listas	El movimiento de la grúa sin estar disponibles las formaleta.

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 44. Trabajo contributivo y productivo en levantamiento y ubicación de formaleta

Valor agregado	Actividades contributivas levantamiento formaleta	Descripción
Contributivo	Logística de grúa y formaletas	La gestión para que las formaletas y la grúa estén listas para hacer el movimiento
Productivo	Operador trabajando la grúa Trabajadores apoyando el movimiento de la formaleta	La ubicación de la formaleta realizado con el operador y los trabajadores

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.5.5 *Form clamps e inserción en formaleta*

- Actividades que no agregan valor

Tabla 45. Trabajo no contributivo en form clamps e inserción en formaleta

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en armado piezas	Descripción
Inventarios excesivos	Exceso de tubo de PVC	Este insumo, se tiene en grandes cantidades en la obra y no se controla su adquisición de forma precisa

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 46. Trabajo contributivo y productivo en form clamps e inserción en formaleta

Valor agregado	Actividades contributivas en armado piezas en L	Descripción
Contributivo	Adquisición de tubos PVC	La gestión para tener los tubos e instalarlos en la formaleta
Productivo	Inserción tubos PVC en formaleta	La actividad realizada de ubicar los tubos de PVC en los form clamps realizada por los obreros

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.5.6 *Unión de las L y retiro de residuos de la formaleta*

- Actividades que no agregan valor

Tabla 47. Trabajo no contributivo en unión de las L y retiro de residuos de la formaleta

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en unión L y retiro residuos	Descripción
Demoras	Formaletas con exceso de residuos	Las formaletas de tanto uso, vienen con muchos residuos que requieren ser removidos para que no afecten la estructura y para esto se emplea tiempo de los trabajadores
Movimiento no útil de personas	Movimiento de trabajadores removiendo residuos	Cuando la formaleta viene con muchos residuos, se incurre en tiempos adicionales para poder limpiarla

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 48. Trabajo contributivo y productivo en unión de las L y retiro de residuos de la formaleta

Valor agregado	Actividades contributivas en unión L y retiro residuos	Descripción
Contributivo	Logística grúa y operadores ubicándose para unir las L	Las L para armar el encofrado requieren tener disponibles la grúa en algunos casos y los trabajadores listos para ubicarlas en las columnas
Productivo	Movimiento trabajadores y martillando	El movimiento para trasladar las L, unirlas y posterior retirar los residuos es trabajo productivo

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.5.7 Verificación de plomos

Este punto fue descrito en el numeral 7.4.4.6

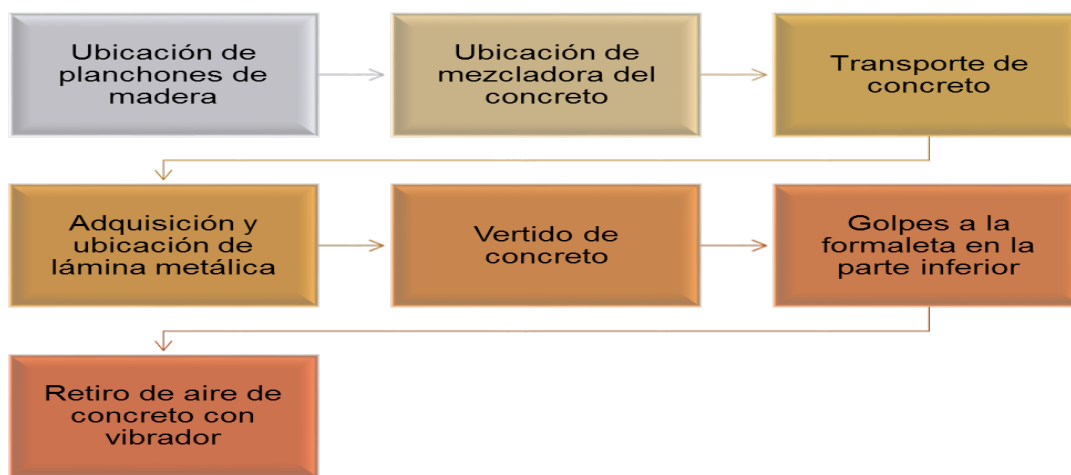
7.4.6. PDT Plan de trabajo Vertido de concreto

Esta actividad completa la forma de la columna y para esto se requiere que todos los elementos involucrados se realicen de forma correcta para que haya el menor desperdicio y la columna quede con las características de resistencia ideales. En esta actividad, los desperdicios están muy presentes por ser la última actividad para completar y porque se

consumen tiempo, materiales, herramientas y maquinaria que ante un mínimo retraso el costo incurrido es elevado.

En la figura 14, se muestran las actividades y se describirán con los desperdicios que se generan en las mismas.

Figura 14. Estructura PDT Vertido de concreto



Fuente: Autor

7.4.6.1 *Ubicación de planchones de madera*

Explicado en 7.4.4.5

7.4.6.2 *Ubicación mezcladora concreto*

- Actividades que no agregan valor

Tabla 49. Trabajo no contributivo ubicación mezcladora concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en ubicación mezcladora concreto	Descripción
Demoras	Espacio de la mezcladora no disponible	La mezcladora tiene un espacio para su ubicación que en muchas ocasiones no está disponible
Movimiento no útil de personas	Trabajadores, buscando el espacio de la mezcladora	Los trabajadores tienen que intervenir para que se abra el espacio para la mezcladora

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 50. Trabajo contributivo y productivo en ubicación mezcladora de concreto

Valor agregado	Actividades contributivas en ubicación mezcladora	Descripción
Contributivo	Definición espacio	La mezcladora debe estar en un punto en donde facilite el alcance de los baldes de concreto para la columna a construir
Contributivo	Trabajador ubicándose en mezcladora para manejarla	El trabajado del operador de la máquina ubicándose
Productivo	Trabajador moviendo la máquina	La ubicación de la máquina en el espacio adecuado que facilite el levantamiento de los baldes de concreto

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.6.3 Transporte de concreto

- Actividades que no agregan valor

Tabla 51. Trabajo no contributivo transporte concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en transporte concreto	Descripción
Defectos	Baldes en mal estado	En el transporte del concreto, si los baldes o recipientes se encuentran en mal estado, se desperdiciara el concreto
Demoras	Grúa no disponible	Cuando la grúa no está disponible, el transporte se retarda y puede afectarse la mezcla
Movimiento no útil de personas	Trabajadores esperando el concreto	Existe un espacio de tiempo entre el vertido del concreto y el nuevo concreto a incorporar en donde los trabajadores están a la espera

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 52. Trabajo contributivo y productivo en transporte concreto

Valor agregado	Actividades contributivas en transporte concreto	Descripción
Contributivo	Preparación de baldes	Los baldes deben estar listos para al momento de que el concreto este preparado, se traslade de forma inmediata.
Productivo	Trabajadores apoyando el movimiento	Los trabajadores que toman el balde y lo llevan al punto del vertido, contribuyen a la actividad
Productivo	Operador moviendo la grúa/transportadora concreto	El Trabajador que manipula la grúa o la transportadora de concreto genera valor al proceso

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.6.4 Adquisición y ubicación de lámina metálica

- Actividades que no agregan valor

Tabla 53. Trabajo no contributivo lámina metálica

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios lámina metálica	Descripción
Defectos	Lámina mala calidad	Este elemento de mala calidad, hace que el vertido de concreto no se realice de forma adecuada porque al dañarse (romperse), el concreto se desperdiciaría.

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 54. Trabajo contributivo y productivo en lámina metálica

Valor agregado	Actividades contributivas lámina metálica	Descripción
Contributivo	Gestión de compra	La logística para obtener una lámina adecuada
Productivo	Compra de lámina Transporte y ubicación de lámina en la obra	La adquisición y movimiento de la lámina hasta tenerla en el sitio en donde se hará el vertido de concreto, son trabajos que generan valor

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.6.5 *Vertido de concreto*

- Actividades que no agregan valor

Tabla 55. Trabajo no contributivo vertido concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en vertido concreto	Descripción
Defectos	Mezcla no adecuada	El vertido de concreto, se convertiría en actividad que no agregaría valor, si la mezcla no cumple con las características para formar la columna
Demoras	Grúa, baldes no disponibles	El retraso en esta actividad se puede presentar porque equipos como la grúa que transporta los baldes no se encuentre disponibles.
Movimiento no útil de personas	Trabajadores esperando el concreto	Existe un espacio de tiempo entre el vertido del concreto y el nuevo concreto a incorporar en donde los trabajadores están a la espera

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 56. Trabajo contributivo y productivo en vertido de concreto

Valor agregado	Actividades contributivas en vertido de concreto	Descripción
Contributivo	Ubicación de los trabajadores en los tablones	Trabajadores alistándose para recibir los baldes de concreto para verterlo
Contributivo	Ubicación de la lámina metálica.	Facilita que el concreto caiga dentro de la formaleta
Productivo	Verter concreto	Con los trabajadores ubicados y la lámina lista, el proceso de vertido se convierte en la actividad de generación de valor

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.6.6 Golpes en la formaleta en la parte inferior

- Actividades que no agregan valor

Tabla 57. Trabajo no contributivo en golpes a la formaleta

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en golpes a la formaleta	Descripción
Excesos de procesado	Exceso de golpes	Los trabajadores golpeando en exceso las formaletas, hace que se gaste tiempo

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 58. Trabajo contributivo y productivo en golpes formaleta

Valor agregado	Actividades contributivas en ubicación mezcladora	Descripción
Contributivo	Alistamiento del elemento (martillo)	La gestión para tener el martillo en obra que golpeará la formaleta permitirá hacer la actividad sin retrasos
Productivo	Golpes a la formaleta	El trabajador ejecutando la actividad de golpes para que el concreto se ubique bien desde el fondo de la formaleta.

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.6.7 Retiro de aire de concreto con vibrador

- Actividades que no agregan valor

Tabla 59. Trabajo no contributivo retiro de aire de concreto

Desperdicios según Al-Aomar	Desperdicios en retiro aire concreto	Descripción
Defectos	Espacios en columna	Todos los espacios cuando se vierte el concreto, deben quedar completos, es decir, en las columnas no pueden quedar porque a partir de allí, la columna se puede quebrar.
Demoras	Vibrador no disponible	Cuando se hace el vertido de concreto, la demora en el vibrador, hace que el concreto se empiece a secar y queden espacios dentro de la columna que la pueden

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

- Actividades que agregan valor

Tabla 60. Trabajo contributivo y productivo retiro de aire de concreto

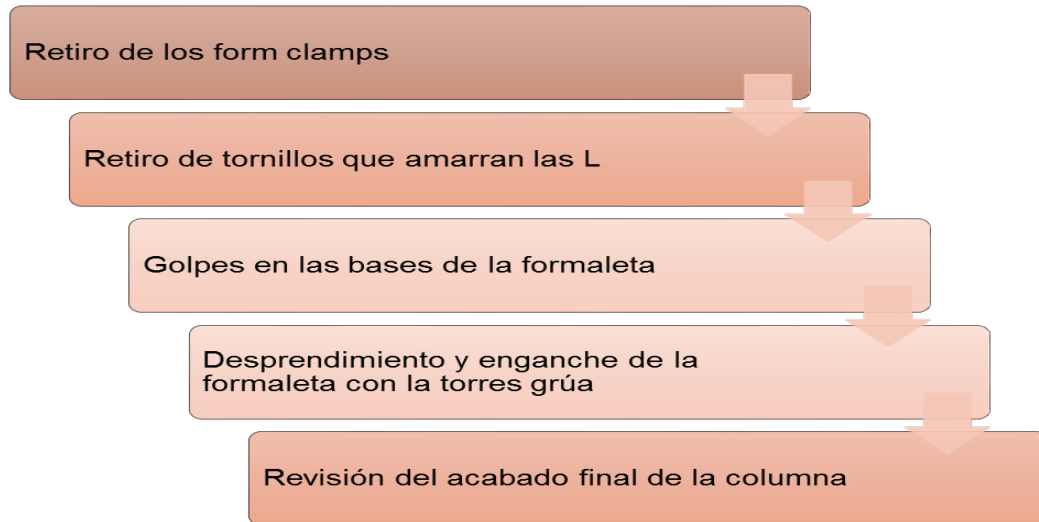
Valor agregado	Actividades contributivas retiro aire concreto	Descripción
Contributivo	Alistamiento de vibrador	La gestión para tener el vibrador en obra, hace parte del trabajo contributivo
Productivo	Retiro de aire con vibrador	Los trabajadores que sujetan el vibrador para que ese realice su actividad de extracción de aire y se complete toda la columna

Fuente: Autor (basado en el estudio de Al-Aomar)

7.4.7. PDT Plan de trabajo Retiro de formaleta

El retiro de la formaleta permite que la actividad de fraguado se realice, permitiendo que la columna esté terminada. En el retiro de la formaleta se tienen las actividades que se muestran en la figura 15 y se presentan los desperdicios cuando se está instalando que se presentaron en el punto 7.4.5 Ubicación de formaleta en tiempo y trabajadores.

Figura 15. Estructura PDT Retiro de formaleta



Fuente: Autor

7.4.8. PDT Fraguado

Para esta actividad no intervienen recursos humanos ni materiales porque se estima aproximadamente 28 días para que el concreto vertido se pueda secar. En este punto se resume el trabajo de las demás actividades, en donde si hubo errores en la elaboración de la columna, se verán reflejados en este punto, teniendo como consecuencia, costos adicionales para reparación de la misma o la demolición.

Después de transcurrido el tiempo de fraguado, los ingenieros y maestros deben validar que la columna quedó con las características requeridas para continuar con la construcción de la edificación. De esta forma se asegura que se está trabajando bajo un soporte sólido y que la infraestructura no se derrumbará por cuestiones referentes a la columna construida.

7.4.9. Análisis del Investigador

Todos los paquetes de trabajo anteriormente descritos, tienen actividades que están expuestas a ser no generados de valor en la cadena de producción de la columna de concreto. Un retraso en cualquiera de estas o de los elementos que la componen, retrasa todo el proceso y si se ejecutan de forma equivocada la columna tendrá fallas que no permitirá soportar las estructuras que estén por encima de ellas.

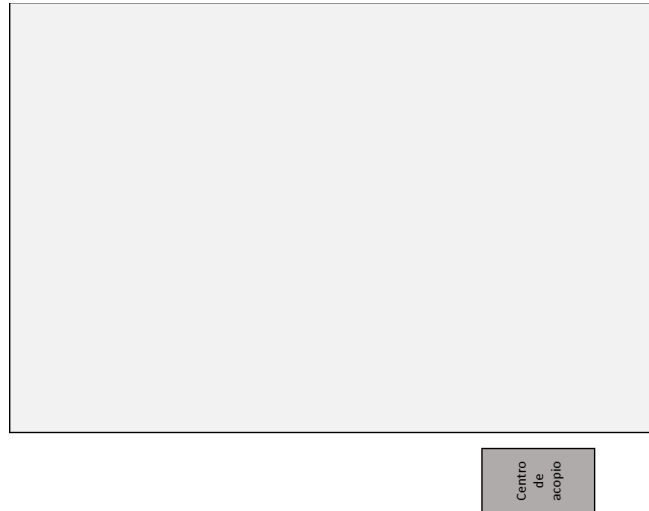
Si bien todos los PDT tienen actividades que no generan valor, los PDT que más generan valor son el armado del refuerzo y el vertido de concreto, pero igualmente, son susceptibles a tener mayores pérdidas de tiempo sino se tienen los elementos para ejecutar estas actividades, considerándose los principales porque en estos intervienen los materiales que definen la forma de la columna y que le darán funcionalidad a la misma. Los otros PDT son complementos para que la columna se pueda formar.

7.5. Propuesta para minimizar pérdidas/desperdicios

7.5.1. Creación de centro de acopio

La propuesta de centro de acopio, se realiza teniendo en cuenta la cantidad de materiales y demás insumos que se requieren para la realización del día a día de las actividades de obra. Este centro de acopio permite que se tengan los recursos necesarios en el momento apropiado para que no haya desperdicio por horas hombre perdidas por falta de materiales, insumos y demás herramientas.

Figura 16. Ubicación de centro de acopio en la construcción



Fuente: Autor

Considerando que la edificación en estudio es de dos niveles, es importante que el centro de acopio sea estratégico para los trabajadores y que a medida que avance la obra, no se convierte en un espacio que incomode o que deba reubicarse. Según Méndez Gladis (2010), este define al centro de acopio: “a la instalación física permanente o temporal, destinada a la recepción de bienes o insumos adquiridos para la venta en donde se selecciona, empaca y prepara, para su venta.” Pág. 80

Visualizando la figura 17, el punto estratégico para ubicación del centro de acopio, será en un área externa de la edificación en donde se tenga autorizado poder ubicar y en empleando estacas para el suelo y polisombra o armando un techo para cubrir los materiales de humedad. El área apropiada para armar el acopio es paralela a la construcción en donde los materiales estarán asequibles y cercanos, disminuyendo el desplazamiento de los trabajadores e igualmente creando una cultura de orden y aseo en donde las herramientas deben estar allí una vez no se estén usando, en donde también se reducen los

desplazamientos por búsqueda de herramientas y la pérdida de las herramientas por deterioro por dejarlas en áreas destapadas.

Figura 17. Ubicación de centro de acopio en la construcción



Fuente: Autor

7.5.2. Revisión de planos de construcción

La revisión y confirmación de las características de las estructuras, es otra de las propuestas a este trabajo de investigación, considerando la importancia que tiene la correcta lectura de los planos, en donde a partir de esto se logra asegurar que la estructura a realizar cumple con las características de seguridad tanto para las personas que la construyen, como para las que la habitarán e igualmente que no se convierta en pérdidas para la empresa si está se destruye durante su ejecución.

Para esto, se propone que ingenieros diferentes a los que ejecutan la obra, como interventor revise estos planos con el mayor detalle y emitan sus observaciones al respecto y si bajo los parámetros de forma de la estructura, materiales a emplear y tiempo, se logra

obtener columnas que sean resistentes al peso a soportar y a eventos naturales como sismos o terremotos. En esta revisión se confirman o modificación los diseños según corresponda, se definen la cantidad de materiales, horas hombre y equipos que se requieren para la construcción de las columnas de concreto que requiere la edificación.

7.5.3. Creación cultura de orden y aseo en la construcción

Esta es una propuesta que implica la participación de todos los trabajadores desde los operativos que son los obreros y oficiales hasta los administrativos como son los maestros, supervisores de obra, ingenieros y directores de la obra. Como se revela en varios estudios, como el realizado por Abarca, en donde revela que las personas consumen alrededor de 45 minutos al inicio de la jornada buscando los elementos que requieren para la ejecución de su actividad¹⁹ que se puede evidenciar en las siguientes figuras:

Figura 18. Programación de entrega de materiales por parte de los proveedores



Fuente: Ensenada

¹⁹ ABARCA, Francisco. Optimización de la productividad en proyectos de edificación a través de value stream mapping en la partida crítica de moldajes. En: Repositorio Universidad de Chile, 2015.

Esta medida es de gran importancia teniendo en cuenta que la asignación de un espacio para definirlo como el centro de acopio con las características antes mencionadas, no tendría justificación si la obra se estará realizando de forma desorganizada. Para aplicar de este programa de cultura de orden y aseo se tiene como plan las siguientes actividades:

- Sensibilización en orden y aseo: los trabajadores deben conocer las ventajas de la organización y limpieza dentro de la obra, en donde se enfatice no sólo en el tiempo perdido por falta de orden, sino en los riesgos a los que están expuestos por trabajar en estas condiciones. En este punto, se puede solicitar apoyo por parte de las administradoras de riesgo que tienen estos programas y facilitan su implementación.
- Se crea la rutina de que, finalizando la jornada, tomando 5 a 10 minutos, se procede a recoger las herramientas y equipos que se tengan dentro de la construcción y se llevan al centro de acopio para que, iniciando la siguiente jornada, sea rápido el inicio de la jornada.

7.5.4. Análisis del Investigador

En este punto de propuestas para minimizar el desperdicio, se enfocan principalmente en que los desplazamientos por parte de los trabajadores sea el mínimo requerido, haciendo que su trabajo en el día sea más productivo en la construcción de la columna de concreto.

Consiguiendo que los trabajadores opten por la cultura de orden y aseo, con el armado del centro de acopio que asegura el cumplimiento de la organización en la ejecución de la obra y por medio de la revisión de los planos que garantiza que la obra se está ejecutando con la estructura correcta, se logra trabajar en las actividades que no

agregan valor como defectos por trabajar sobre planos correctas por la revisión de los ingenieros externos, demoras por falta de orden en la construcción, movimientos no útiles de personas por contar con el centro de acopio que facilita por tener los elementos requeridos en una sola ubicación.

7.6. Propuesta Lean Construction

7.6.1. Generalidades

La propuesta de Lean Construction está enfocada en la reducción de los desperdicios y una forma de realizarlo es por medio de programaciones de obra más precisas y las alianzas con los proveedores que para este caso es la planeación diaria y semanal que se relaciona con la técnica de Last Planner (Último Planificador), que incluye el control de flujo de actividades mediante asignaciones de trabajo.

Mediante este sistema, se pretende incrementar la calidad del trabajo semanal (PTS) porque ayuda a la correcta selección de la secuencia del trabajo de acuerdo con el plan de trabajo global, la correcta cantidad de trabajo seleccionado porque tiene en cuenta la capacidad de trabajo de las cuadrillas que lo ejecutarán y la definición exacta del trabajo por realizar y qué puede hacerse, es decir, la garantía de que todos los prerrequisitos se han ejecutado y que se cuenta con recursos disponibles para tal fin²⁰.

7.6.2. Planeación diaria y semanal de la ejecución de la obra

La propuesta de planeación diaria y semanal de la ejecución de la obra se realiza teniendo en cuenta que se tienen como base la ejecución de las actividades del numeral

²⁰ BOTERO, Luis Fernando y ALVAREZ, Martha Eugenia. Last planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción- Estudio del caso de la ciudad de Medellín. En: Revista Ingeniería y Desarrollo, 2005. no. 17.

anterior, es decir, la construcción de la caseta o centro de acopio y la revisión de los planos por parte de los ingenieros externos.

Teniendo las cantidades totales de material a requerir con el estudio de los ingenieros, se procede a gestionar con los proveedores para que se realice un suministro semanal de la cantidad de cemento, varillas, estribos y demás que se requiera para realizar la columna. Esta cantidad se presenta en la tabla 61 y en la tabla 62 la cantidad de horas hombre requeridas.

Tabla 61. Material para construcción de columnas concreto

Material	Unidad	Cantidad	Valor total	Total columnas	Cantidad total material
Varilla media	Und	5	\$130.000	12	60
Varilla 3/8	Und	7	\$112.000	12	84
Cemento	Bulto	6	\$170.000	12	72
Arena	m3	1	\$85.000	12	12
Triturado	m3	1	\$85.000	12	12
Estribos	Und	23	\$575.000	12	276

Fuente: Autor con información de la obra

Tabla 62. Material para construcción de columnas concreto

Horas Hombre requeridas	Cantidad
Días de trabajo para cada columna	2
N° columnas	12
Total días de trabajo	24
N° trabajadores	2
Horas hombre trabajadas por día	8
Total horas hombres	384

Fuente: Autor con información de la obra

En este caso, se consideraron mínimo dos trabajadores porque un solo obrero no puede hacer la actividad porque se requiere de un componente de fuerza y otro componente de coordinación o de ejecución de la actividad. En el caso de los obreros, es importante que

la contratación se realice a un mes, teniendo en cuenta que se toman los cuatro domingos y el medio de día que se trabaja el día sábado.

Los materiales se coordinan con los proveedores en donde pueden ser varios proveedores o uno que logre abastecer todos los insumos, estableciendo las entregas según lo indicado en la figura 18. Para este caso, los proveedores definidos son tres porque cada uno de estos es especialista en el suministro del material que se le asigna y por ende da los mejores precios y con la calidad requerida.

Tabla 63. Proveedores asignados para suministro materiales

Material	Proveedor
Varilla media	GYJ FERRETERÍA
Varilla 3/8	
Estribos	
Cemento	ARGOS/CEMEX
Arena	AVENSA
Triturado	

Fuente: Autor con información de la obra

Con la información antes mencionada, se procede a realizar la programación por semanas para el mes que se trabajarán en las columnas quedando según se presenta en la figura 19:

Figura 19. Programación de entrega de materiales por parte de los proveedores

Material/Día	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12	Día 13	Día 14	Día 15	Día 16	Día 17	Día 18	Día 19	Día 20	Día 21	Día 22	Día 23	Día 24		
Varilla media		30				30																				
Varilla 3/8		42				42																				
Estribos									276																	
Cemento	12																	30				30				
Arena																		6				6				
Triturado																		6				6				

Fuente: Autor

Esta programación está sujeta a cambio dependiendo de las condiciones del clima que les impida a los trabajadores realizar su labor con el ritmo de trabajo de un día normal siendo la variable más considerable el clima en donde se puede detener la operación por lluvias y/o temperaturas elevadas que hacen que los trabajadores tengan un rendimiento inferior.

Por esta razón es la revisión de forma semanal y diaria, porque así se tiene claro cómo proceder para en caso de presentarse estos casos. Al finalizar de cada semana, específicamente el sábado, se revisa el estado de avance de la obra y si no ha habido ningún percance o atraso por efecto del clima o algún evento, se sigue con el acuerdo de los proveedores de suministrar en los días pactados según lo resumido en la tabla 64, de lo contrario se da el aviso para que ellos confirmen la disponibilidad para el nuevo día de la semana definido que en caso de no ser exacto, se debe buscar que este no sea superior a un día porque como se evidencia en la figura 19, los pedidos se hacen en cantidades de 50% al inicio y 50% antes de llegar a la mitad de la actividad que requiere el insumo, porque de lo contrario, la obra se quedaría sin material que implica tener a los trabajadores parados sin ejecutar actividad.

Tabla 64. Días de entrega de los Proveedores asignados para suministro materiales

Material/Fecha entrega	Día 1	Día 2	Día 5	Día 9	Día 17	Día 20
Varilla media						
Varilla 3/8						
Estribos						
Cemento						
Arena						
Triturado						

Fuente: Autor

7.6.3. Análisis del Investigador

- La planeación de la adquisición y entrega en el sitio de los insumos por parte de los proveedores, es una estrategia importante en todos los procesos constructivos; porque de esta forma se garantiza que haya fluidez en la ejecución de la obra y es por esto que crear alianzas con ellos es una de las actividades que debe fortalecerse en el nivel administrativo-directivo. No sólo permite tener continuidad en la obra, también se accede a mejores precios y productos de mayor calidad.
- En este punto, las herramientas se deben considerar en la planeación, pero con la aclaración que la empresa cuenta con los equipos necesarios para hacer las actividades porque ya han trabajado en obras similares, teniéndolos en buen estado permitiendo volverlos a usar. En caso de no contar con los equipos y herramientas como formaletas, bichiroque y similares, estos deben estar disponibles desde el inicio para que no se atrasen las actividades por estos elementos.
- El planteamiento de esta propuesta basada en la filosofía “Lean Construction” contribuye a trabajar para evitar pérdidas en el proceso constructivo; que a continuación se describen y al mismo tiempo se incluye la propuesta para evitarlas.
 - a. defectos de calidad en los insumos - formar alianzas con proveedores de calidad
 - b. demoras en el suministro de insumos – planear el proceso de adquisición de insumos para que los materiales estén a tiempo en el centro acopio para que los trabajadores realicen las actividades sin detenerse
 - c. excesos de tiempo en el proceso y producción - se debe trabajar con planos acordes, es decir, que las actividades y los recursos sean los correctos

- d. inventarios excesivos - sólo se adquiere lo que se requiere para un periodo y en las cantidades precisas evitando que se dañen por la actividad de la obra o por efectos del ambiente como el clima, transporte innecesario
 - e. movimientos no útiles de personas - reducir al máximo los desplazamientos tanto de los trabajadores como de los materiales.
- La ejecución de las propuestas planteadas, hacen que todas las actividades durante la construcción de la columna de concreto, se conviertan en generadores de valor, porque la planeación de los recursos, la adecuación de la obra, trabajando sobre los planos y características correctas y concientizando sobre las buenas prácticas de ejecución de actividades hace que cada minuto en el horario laboral sea productivo o contributivo a la cadena de valor de la obra.

8. Conclusiones

- La identificación de los elementos que no generan valor en una actividad, proceso o en la empresa, es uno de los primeros pasos para optimizar y de esta forma encontrar los costos ocultos que hacen que se disminuya la utilidad en la operación de la empresa que era lo que se pretendía alcanzar por medio de la ejecución de este modelo de planificación semanal que hace que los recursos se asignen de forma completa
- Las columnas de concreto y los elementos estructurales (vigas, placas, muros, etc) en una edificación son la estructura fundamental debido a que se encargan de recibir cargas, soportar esfuerzos y transmitir esas cargas al suelo, garantizando así la función estático-resistente de la construcción; razón por la cual debe ser ejecutado bajo los parámetros de calidad correctas para asegurar que cumpla su función y por esto la correcta evaluación de los planos y de los insumos requeridos. Por esto, el detalle presentado en este trabajo de grado para la construcción de la columna de concreto porque así se puede optimizar, cada uno de los recursos que intervienen en su proceso constructivo. Lo anterior, no quiere decir, que el resto de actividades de un proyecto de construcción no se deban ejecutar bajo la misma filosofía, sino que ésta tiene prioridad y un nivel de importancia alto.
- La creación de culturas de trabajo organizado permite a las empresas reestructurar sus procesos, logrando optimizarlos y de esta forma obtener beneficios económicos por realizar sus actividades en tiempos que se consideran más eficientes porque no se tiene desperdicio por tiempos perdidos, aumentando así la productividad del proceso de construcción. Es por esto que se promociona en este trabajo de grado, que hay este tipo

de cultura para que se facilite la elaboración del trabajo y se puedan reducir al mínimo los tiempos perdidos por búsquedas de insumos u otros recursos que requieran la construcción de la columna de concreto.

- La planeación de recursos es la actividad a nivel estratégico que logra reducir los tiempos muertos y demás actividades que no generan valor, permitiendo que se dedique mayor tiempo a realizar un trabajo con mayor calidad, es decir, con aquellas actividades que realmente agregan valor. Considerando esta premisa, en este trabajo de grado, se planteó esta propuesta como la principal para aplicación de Lean Construction en este proyecto de construcción de columna de concreto ya que así se logra reducir al mínimo el exceso y/o desperdicio de materiales, tiempos muertos por parte de los trabajadores y maquinaria.
- Las alianzas estratégicas con proveedores tienen como ventajas acceder a precios a costo de fabricación y de calidad, convirtiéndose en mayores beneficios para la empresa porque el costo operacional es menor y se puede invertir en otros proyectos. Por estas ventajas es que se establece como propuesta de reducción de pérdidas en la construcción porque así permite que la empresa tenga los insumos en las medidas que los necesita.

9. Enlaces y referencias bibliográficas

Abarca, F. (2015). Optimización de la productividad en proyectos de edificación a través de value stream mapping en la partida crítica de moldajes. *Repositorio Universidad de Chile*.

ACTUALICESE. (20 de Octubre de 2015). *Administración, Imprevistos, Utilidad: conociendo el A.I.U. a fondo*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2017, de <https://actualicese.com/actualidad/2014/10/20/administracion-imprevistos-utilidad-conociendo-a-i-u-a-fondo/>

Al-Aomar, R. (2012). Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction. *Lean Construction Journal*, 105-121.

Boter, L. F., & Álvarez, M. E. (2005). Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción - Estudio del caso de la ciudad de Medellín. *Ingeniería y Desarrollo*(17).

Botero. (2006). *Construcción sin perdidas. Análisis de procesos y filosofía lean construction*. Bogotá: Editorial Legis S.A.

Botero, L. (2008). *Lean Construction (aplicación al caso colombiano)*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2017, de http://media.wix.com/ugd/df967c_ac0e508380be307249ea67091e7230f9.pdf?dn=10.+aplicaci%C3%83%C2%B3n+lean+colombia.pdf

Botero, L., & Alvarez, M. (2003). Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción. Obtenido de Universidad EAFIT.

Botero, L., & Alvarez, M. (2004). *Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda*. Obtenido de Universidad EAFIT.

- BUSCADOR DE ARQUITECTURA NOTICIAS. (13 de Octubre de 2017). *13 Razones por las que las empresas de construcción pierden dinero*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2017, de <http://noticias.arq.com.mx/Detalles/18449.html>
- CONSTRUYA FÁCIL. (23 de Noviembre de 2013). *Como hacer una columna de concreto reforzado*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2017, de <http://www.construyafacil.org/2013/11/Como-hacer-una-columna-de-concreto-reforzado.html>
- EL ESPECTADOR. (20 de Junio de 2016). *Retrasos en obras ponen en riesgo a regiones ante posible llegada de La Niña*. Recuperado el 10 de Febrero de 2018, de <https://www.elespectador.com/noticias/nacional/retrasos-obras-ponen-riesgo-regiones-posible-llegada-de-articulo-638827>
- EL PAÍS. (15 de Marzo de 2015). *Sector de la construcción, motor del crecimiento de la economía*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2017, de <http://www.elpais.com.co/economia/sector-de-la-construccion-motor-del-crecimiento-de-la.html>
- Kertzman, F. (7 de Junio de 2017). *Construcción sigue postrada*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2017, de Revista Dinero: <http://www.dinero.com/economia/articulo/sector-construccion-en-la-economia-colombia-2017/247364>
- Kuo, Y.-C., & Lu, S.-T. (2013). Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects. *Internation Journal Of Project Management*, 31(4), 602-614.
- NUÑEZ, C. (2006). Creación de un sistema de referencia en Bogotá, aplicando la Construcción sin pérdidas. *Universidad de los Andes. Tesis de Maestría*.

PORTAFOLIO. (10 de Noviembre de 2017). *En el 2018 el sector de la construcción crecerá 4,6%*. Recuperado el 10 de Febrero de 2018, de

<http://www.portafolio.co/economia/sector-construccion-crecera-en-el-2018-511534>

SEGUROS MAPFRE. (2006). *Manual sobre riesgos en la construcción, daños a la obra y pérdida de beneficios anticipada (ALOP)*. Recuperado el 13 de Noviembre de 2017, de

https://www.mapfrere.com/reaseguro/es/images/Manual-Riesgos-Construccion-ALOP_tcm636-81085.pdf

SENA. (2012). *Procesos y procedimientos para la construcción*. Recuperado el 6 de Noviembre de 2017, de

http://biblioteca.sena.edu.co/exlibris/aleph/u21_1/alephe/www_f_spa/icon/8830/procesos_procedimientos_para_la_construccion.html#

UNIANDES. (2006). *Creación de un sistema de referencia en Bogotá, aplicando la construcción sin pérdidas*. Obtenido de

<http://guaica.uniandes.edu.co:5050/dspace/bitstream/1992/898/1/balkema+enero.pdf>

UNIVERSIDAD EAFIT. (2003). *Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción*. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/215/21513006.pdf>