

# **UNIVERSIDAD DE SONORA DIVISIÓN DE INGENIERÍA**



## **POSGRADO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL MAESTRÍA EN INGENIERÍA EN SISTEMAS Y TECNOLOGÍA**

APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN LA FILOSOFÍA LEAN  
CONSTRUCTION (CONSTRUCCIÓN ESBELTA) DENTRO DEL PROCESO  
DE OBRA, EN UNA EMPRESA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS

# **T E S I S**

PRESENTADA POR

**DANIELA MICHELLE ALVARADO CORONADO**

Desarrollada para cumplir con uno de los  
requerimientos parciales para obtener  
el grado de Maestra en Ingeniería

DIRECTOR DE TESIS  
DR. JAIME LEÓN DUARTE

HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO.

SEPTIEMBRE 2018

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos  
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"

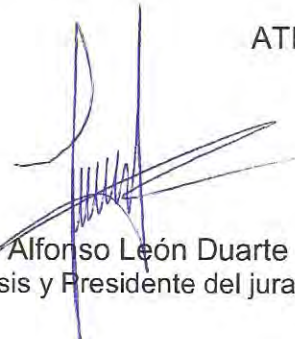
Hermosillo, Sonora a 8 de agosto de 2018

**DANIELA MICHELLE ALVARADO CORONADO**


Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado vigente, otorgamos a usted nuestra aprobación de la fase escrita del examen de grado, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería.

Por tal motivo este jurado extiende su autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUCCIÓN ESBELTA) DENTRO DEL PROCESO DE OBRA, EN UNA EMPRESA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE



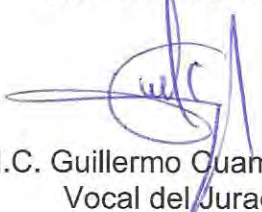
Dr. Jaime Alfonso León Duarte  
Director de tesis y Presidente del jurado



Dr. Luis Felipe Romero Dessens  
Vocal del Jurado



Dra. María de los Angeles Navarrete  
Hinojosa  
Secretaria del Jurado



M.C. Guillermo Cuamea Cruz  
Vocal del Jurado

c.c.p. Archivo

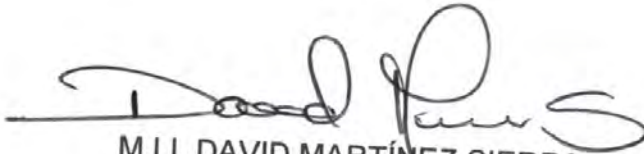
Barranquilla, Atlántico, Colombia, a 31 de julio de 2018

**DANIELA MICHELLE ALVARADO CORONADO**

Con fundamento en el artículo 66, fracción III, del Reglamento de Estudios de Posgrado de la Universidad de Sonora, otorgo a usted mi aprobación de la fase escrita del examen profesional, como requisito parcial para la obtención del Grado de Maestra en Ingeniería.

Por tal motivo, como sinodal externo y vocal del jurado, extiendo mi autorización para que se proceda a la impresión final del documento de tesis: **APLICACIÓN DE UNA METODOLOGÍA BASADA EN LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUCCIÓN ESBELTA) DENTRO DEL PROCESO DE OBRA, EN UNA EMPRESA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS** y posteriormente efectuar la fase oral del examen de grado.

ATENTAMENTE



M.I.I. DAVID MARTÍNEZ SIERRA  
UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
Sinodal Externo y Vocal del Jurado

## RESUMEN

El sector de la construcción en México es muy importante ya que utilizan insumos provenientes de otras industrias como el acero, hierro, cemento, arena, cal, madera, aluminio, etc., es uno de los principales motores de la economía del país ya que beneficia a 66 ramas de actividad a nivel nacional. Muchos la consideran, más que una actividad, un verdadero motor que impulsa el progreso de una sociedad. Sin embargo, y a pesar de ser una actividad de gran importancia, clave en la economía y desarrollo de un país, presenta un bajo grado de desarrollo, no es entendible como a pesar del desarrollo tecnológico y metodológico experimentado en los últimos años en otros sectores, la industria de la construcción no haya aprovechado tales avances para ser más productiva.

Por consiguiente, este trabajo contempla poner especial atención en la implementación de nuevas metodologías de trabajo basadas en la gestión de los proyectos ya que se considera esencial en todo sistema, cosa que no se está viendo en el sector constructivo. La gestión de proyectos a implementar abarca el proceso constructivo en sí, es decir, desde la obtención de recursos hasta la entrega del trabajo final. El entorno al que se aplicó es en una empresa dedicada a la construcción de casas habitación con el fin de poder crear un concepto global de gestión para este tipo de casos.

La introducción de la gestión de proyectos en este caso se basa en la filosofía construcción esbelta con la finalidad de reducir desperdicios dentro del proceso; la aplicación de la metodología propuesta trajo grandes beneficios a la empresa, dando un horizonte a la misma, al poder definir sus proyectos en un principio, poder reducir desperdicios de recursos materiales, mano de obra y tiempo principalmente, y finalmente pero no menos importante se pudieron cuantificar las utilidades de cada uno de los proyectos.

## **ABSTRACT**

The construction sector in Mexico is very important because they use inputs from other industries such as steel, iron, cement, sand, lime, wood, aluminum, etc., it is one of the main engines of the country's economy since It benefits 66 branches of activity nationwide. Many consider it to be, more than an activity, a real engine that drives the progress of a society. However, and despite being an activity of great importance, key in the economy and development of a country, it has a low degree of development, it is not understandable that despite the technological and methodological development experienced in recent years in other sectors, the construction industry has not taken advantage of such advances to be more productive.

Therefore, this work contemplates paying special attention to the implementation of new work methodologies based on the management of the projects since it is considered essential in any system, something that is not being seen in the construction sector. The management of projects to be implemented covers the constructive process itself, that is, from obtaining resources to delivering the final work. The environment to which it is applied is in a company dedicated to the construction of houses in order to create a global management concept for this type of case.

The introduction of project management in this case is based on the philosophy of lean construction with the aim of reducing waste within the process. The application of the proposed methodology brought great benefits to the company, giving a horizon to it, to be able to define their projects at the beginning, to reduce waste material resources, labor and time mainly, and finally but no less important, the utilities of each of the projects could be quantified.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres Lorena y Horacio por haberme dado parte de su ser y además educarme y hacer de mi lo que soy.

A mis hermanas Lorena y Gabriela, quien son parte de mi existencia. A mis sobrinos y cuñado, por su amor y apoyo infinito. A mis amigos, maestros y compañeros de maestría, a Lorena principalmente por todo su apoyo y tiempo dedicado, sus conocimientos e historias han influido en mi vida, por brindarme su cariño sincero y desinteresado y dejarme aprender de lo que ella sabe.

Al Dr. Alonso Pérez Soltero coordinador de la maestría, que confió en mí, así como a mi Director el Dr. Jaime León Duarte por su ayuda incondicional en la consumación de este proyecto.

A la empresa bajo estudio, por abrirme sus puertas y permitirme desarrollar este proyecto, a las personas que me apoyaron; Ing. Santacruz e Ing. Olmeda principalmente.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Programa de Fortalecimiento de la Calidad Educativas(PFCE) por los apoyos brindados en mis estudios de posgrado.

Y principalmente gracias Dios por brindarme todas las bendiciones en mi vida.

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	ii
ABSTRACT .....	iii
AGRADECIMIENTOS .....	iv
ÍNDICE GENERAL .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Presentación .....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Objetivo general .....	3
1.4. Objetivos específicos .....	3
1.5. Hipótesis .....	4
1.6. Alcances y delimitaciones .....	4
1.7. Justificación.....	4
2. MARCO DE REFERENCIA .....	5
2.1. La construcción en México .....	5
2.2. Sistema de producción.....	8
2.3. Sistema de producción y la industria de la construcción .....	10
2.3.1. Proceso Constructivo.....	11
2.3.2. Principales problemas en la construcción.....	13
2.3.3. Oportunidades de mejora del sector de la construcción .....	22
2.3.4. ¿Es coherente pensar en la construcción bajo la filosofía Lean? .....	30
2.3.5. Casos de estudio .....	30
3. METODOLOGÍA .....	33
3.1. Estructura metodológica .....	34
3.1.1. Selección de casos objeto de estudio.....	35
3.1.2. Definición del panorama general de la empresa actualmente .....	36



3.1.3	Identificar la ruta de planeación y ejecución existente y detección de oportunidades .....	37
3.1.4.	Construir la nueva ruta de planeación y ejecución basada en los preceptos de la filosofía Lean.....	39
3.1.5.	Analizar los resultados obtenidos .....	53
4.	IMPLEMENTACIÓN.....	55
4.1	Selección de objetos de estudio.....	55
4.2	Definición del panorama general de la empresa actualmente .....	57
4.3	Identificar la ruta de planeación y ejecución existente y detección de oportunidades .....	60
4.3.1.	Presupuesto .....	61
4.3.2.	Anticipo de presupuesto .....	62
4.3.3.	Compra de materia prima .....	62
4.3.4.	Bodega .....	65
4.3.5.	Producción.....	68
4.3.6.	Mano de obra.....	70
4.3.7.	Avance semanal .....	72
4.4.	Construir la nueva ruta de planeación y ejecución basada en los preceptos de la filosofía Lean .....	73
4.4.1.	Presupuesto .....	74
4.4.2.	Anticipo de presupuesto .....	79
4.4.3.	Compra de materia prima .....	79
4.4.4.	Bodega .....	86
4.4.5.	Producción.....	91
4.4.6.	Mano de obra.....	91
4.4.7.	Avance semanal .....	93
4.5.	Analizar los resultados obtenidos en ambas rutas .....	94
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS .....	98
6.	REFERENCIAS.....	101
	ANEXOS .....	107

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Var% de la actividad constructiva real contra el mismo mes del año anterior, CMIC 2017.....	6
<b>Figura 2.2.</b> Incremento y decremento de los precios en los insumos de la construcción, CMIC 2017.....	7
<b>Figura 2.3.</b> Clasificación de los sistemas de producción, adaptación a partir de Groover (2007).....	9
<b>Figura 2.4.</b> Enfoque de un sistema de producción- transformación, adaptación de Holstein y Tanenbaum (2007). ....	9
<b>Figura 2.5.</b> Diferencias entre la construcción y la fabricación, (Koskela, 2000).....	11
<b>Figura 2.6.</b> Principales problemas en la industria constructiva, adaptación a partir de Muir (2005).....	13
<b>Figura 2.7.</b> Costos totales de producción (Suarez, 2005).....	14
<b>Figura 2.8.</b> Productividad en la construcción (Martinez, 2011). ....	15
<b>Figura 2.9.</b> Análisis y ejemplos de residuos en la construcción, (Saad, Christine y Andrew, 2017 citado en mossman, 2009). ....	17
<b>Figura 2.10.</b> División del tiempo en la industria manufacturera, (Simonsson y Emborg, 2007).....	18
<b>Figura 2.11.</b> División de tiempo en la construcción, adaptación a partir de Simonsson y Emborg (2007).....	19
<b>Figura 2.13.</b> Marco de referencia a la técnica el ultimo planificador, adaptación a partir de El-Sabek y McCabe (2017, citado en Ballard y Tommelein, 2016). ....	25
<b>Figura 2.14.</b> Filosofía de la planeación usual, (García, 2012). ....	26
<b>Figura 2.15.</b> Planificación según Lean Construction, (García, 2012).....	26
<b>Figura 2.16.</b> Funcionamiento general de Lean Project Delivery System. ....	27
<b>Figura 2.17.</b> Elementos BIM (Pons Achell, 2014). ....	29
<b>Figura 3.1.</b> Experimento de investigación, creación propia a partir de Hernández, Fernández y Baptista, 2014.....	34
<b>Figura 3.2.</b> Metodología propuesta a partir de Cano et al., (2015) y Martinez, (2011). ....	35
<b>Figura 3.3.</b> Componentes del análisis inicial.....	36
<b>Figura 3.4.</b> Propuesta: identificar la ruta de planeación y ejecución del caso de estudio. ....	37
<b>Figura 3.5.</b> Diagrama de proceso base. ....	38
<b>Figura 3.6.</b> Ejemplo de mejoras en diagrama de proceso, identificación de puntos clave.....	38
<b>Figura 3.7.</b> Cambio de ruta con adaptaciones basadas en Lean Construction. ....	40

<b>Figura 3.8.</b> Proceso para la selección de herramientas.....	41
<b>Figura 3.9.</b> Resultantes del documento principal (presupuesto).....	41
<b>Figura 3.10.</b> Actores clave para controlar y coordinar.....	44
<b>Figura 3.11.</b> Proceso para la compra de materiales.....	45
<b>Figura 3.12.</b> Sistema de pedidos.....	46
<b>Figura 3.13.</b> Programación de materiales en base a plan de obra.....	47
<b>Figura 3.14.</b> Caratula general del sistema.....	48
<b>Figura 3.15.</b> Entrada de material.....	48
<b>Figura 3.16.</b> Salida de material.....	49
<b>Figura 3.17.</b> Funcionamiento del área de producción.....	49
<b>Figura 3.18.</b> Cambio de sistema en área de producción.....	50
<b>Figura 3.19.</b> Plan de trabajo.....	50
<b>Figura 3.20.</b> Proceso para el control de mano de obra.....	51
<b>Figura 3.21.</b> Gestión de mano de obra.....	52
<b>Figura 3.22.</b> Planeación de mano de obra requerida.....	52
<b>Figura 3.23.</b> Presupuesto con modificaciones para control de pagos por lote.....	53
<b>Figura 3.24.</b> Análisis de comparación entre casos.....	54
<b>Figura 4.1.</b> Posición de la empresa en el panorama general.....	57
<b>Figura 4.2.</b> Obtención de mayor utilidad en empresas comunes.....	59
<b>Figura 4.3.</b> Obtención de mayor utilidad en la industria de la construcción.....	59
<b>Figura 4.4.</b> Proceso general de la empresa.....	60
<b>Figura 4.5.</b> Presupuesto del prototipo de casa del fraccionamiento 1.....	61
<b>Figura 4.6.</b> Etapas que intervienen en la compra de materiales.....	62
<b>Figura 4.7.</b> Criterio general de compras.....	63
<b>Figura 4.8.</b> Proveedores fraccionamiento 1.....	64
<b>Figura 4.9.</b> Etapas que intervienen con la bodega.....	65
<b>Figura 4.10.</b> Inventario final del proyecto.....	66
<b>Figura 4.11.</b> Funcionamiento del área de obra.....	68
<b>Figura 4.12.</b> Ejemplo del avance de producción de un lote a través del tiempo.....	69
<b>Figura 4.13.</b> Forma de obtener ingresos semanales.....	72
<b>Figura 4.14.</b> Flujo del proceso constructivo con detección de mejoras.....	73
<b>Figura 4.15.</b> Ejemplo de plano arquitectónico.....	80
<b>Figura 4.16.</b> Paquete requerido en la fase de cimentación respecto a acero.....	81
<b>Figura 4.17.</b> Consumo de paquete de cimentación-acero en lotes de 123 M <sup>2</sup> .....	83
<b>Figura 4.18.</b> Plan de obra.....	84
<b>Figura 4.19.</b> Proveedores fraccionamiento 2.....	85
<b>Figura 4.20.</b> Caratula para dar de alta materiales.....	88
<b>Figura 4.21.</b> Parte de la base de datos de materiales dados de alta.....	88
<b>Figura 4.22.</b> Caratula de entrada a material.....	89

<b>Figura 4.23.</b> Caratula para la salida de material.....	90
<b>Figura 4.24.</b> Base de datos de salida de materiales.....	90
<b>Figura 4.25.</b> Plantilla para el control de mano de obra.....	92
<b>Figura 4.26.</b> Sistema para proyecciones de pagos.....	93
<b>Figura 4.27.</b> Estimaciones de pagos.....	94
<b>Figura 4.28.</b> Situación actual de fraccionamiento 2.....	94

# ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Principales características del sistema constructivo de acuerdo a como Roy et al. (2005;2003) y Martínez (2011). .....	12
<b>Tabla 2.</b> Factores que afectan las productividad, adaptación a partir de Dozzi y AbouRizk (1993).....	16
<b>Tabla 3.</b> Diferencias entre un enfoque tradicional y uno Lean (Pons Achell, 2014)..	29
<b>Tabla 4.</b> Métodos para la identificación de mejoras (Miralles, 2011). .....	39
<b>Tabla 5.</b> Información básica del proyecto. ....	42
<b>Tabla 6.</b> Margen de contribución esperada del proyecto. ....	42
<b>Tabla 7.</b> Escenarios en base a mano de obra indirecta a utilizar.....	42
<b>Tabla 8.</b> Mano de obra indirecta por proyecto (ejemplos).....	43
<b>Tabla 9.</b> Definición de actividades y tiempos. ....	43
<b>Tabla 10.</b> Hacer plan de trabajo acorde a semanas calculadas.....	44
<b>Tabla 11.</b> Indicadores posibles a evaluar.....	54
<b>Tabla 12.</b> Resumen de las características de la investigación.....	56
<b>Tabla 13.</b> Posibles mejoras a implementar en presupuesto. ....	62
<b>Tabla 14.</b> Posibles mejoras a implementar en compra de materia prima. ....	65
<b>Tabla 15.</b> Posibles mejoras a implementar en bodega. ....	67
<b>Tabla 16.</b> Posibles mejoras a implementar en producción.....	70
<b>Tabla 17.</b> Posibles mejoras a implementar en mano de obra. ....	72
<b>Tabla 18.</b> Posibles mejoras a implementar en avance semanal. ....	73
<b>Tabla 19.</b> Información básica del proyecto .....	74
<b>Tabla 20.</b> Margen de contribución esperada en el proyecto. ....	75
<b>Tabla 21.</b> Posibles escenarios en base a mano de obra indirecta. ....	75
<b>Tabla 22.</b> Mano de obra indirecta necesaria. ....	76
<b>Tabla 23.</b> Semanas a trabajar por porcentaje de indirecto. ....	76
<b>Tabla 24.</b> Nomenclatura de actividades del proceso de una casa. ....	78
<b>Tabla 25.</b> Paquetes por prototipo.....	82
<b>Tabla 26.</b> Ahorro en dinero con proveedores establecidos.....	86
<b>Tabla 27.</b> Resumen de resultados de Fraccionamiento 1.....	96
<b>Tabla 28.</b> Resumen de resultados de Fraccionamiento 2.....	96

# 1. INTRODUCCIÓN

Desde la aparición del hombre, la evolución del proceso y el mejoramiento continuo ha motivado el desarrollo de las creaciones de la humanidad. El concepto de mejoramiento continuo tiene su auge a finales del siglo XIX y principios del XX con modelos desarrollados desde el punto de vista administrativo, organizacional y del trabajador, con el fin de motivar el cambio que años después se transformaron en modelos como el impulsado por Toyota (Casas y Herbert, 2014).

A pesar de los constantes cambios en la industria, el sector de la construcción a menudo es caracterizado como conservador, por ende opositor al cambio y tardío en adoptar los avances tecnológicos y de filosofía laboral (Gao y Low, 2014). En la actualidad, este es un retrato que generalmente se ajusta bien a la realidad, sin embargo es una imagen que paulatinamente se está desvaneciendo, dando entradas a nuevos conceptos y técnicas de trabajo (Martinez, 2011).

Estamos inmersos en un cambio profundo de modelo productivo, no solo en el sector industrial de fabricación, sino también en la industria de la construcción. Este cambio empezó hace más de dos décadas, primero en el sector del automóvil y lentamente se fue extendiendo a otras industrias (Pons, 2014). En la construcción, los cambios van más despacio pero se están produciendo grandes avances principalmente en Estados Unidos y su aplicación está creciendo rápidamente por todo el mundo (Abdelnaser y Abdulsalam, 2015).

Gracias al trabajo pionero de Koskela (1992), la industria de la construcción se inclinó en la adopción de la filosofía de producción esbelta, misma que fue perfilada o adaptada hacia el ramo de la construcción como *lean construction* (a falta de un término equivalente en español se utilizará en idioma inglés, con las siglas LC), que para fines propios de esta industria busca eliminar actividades que no generen valor agregado a los procesos. Esta filosofía persigue la excelencia a través de un proceso de mejora continua, a través de optimización de recursos y maximización de la entrega de valor al cliente (Becker *et al.*, 2012).

## 1.1. Presentación

El proyecto se desarrollará en una empresa constructora de casas residenciales localizada al noroeste de México. La empresa cuenta con varios departamentos que apoyan y dan soporte a la misma; entre ellos los departamentos de administración y producción. Las áreas son independientes y están localizadas en diferentes puntos de la ciudad debido a las características particulares de la empresa.

El proceso de obra es el más crítico dentro de la cadena de valor, debido al alto consumo de tiempo y recursos. El construir una vivienda debe considerarse como un sistema de producción convencional y tratarse como tal, sin embargo, en la mayoría de las empresas de construcción y en particular el caso a tratar, no se maneja de tal forma. Esta afirmación se fundamenta principalmente debido a que no cuenta con estimaciones reales de los tiempos estipulados para la construcción de casas, provocándose con ello una falta de planeación y coordinación entre las diferentes áreas, lo que se traduce en múltiples problemas.

El no contar con un plan estratégico sobre el proceso de construcción conduce a una falta de secuencia en actividades, una carencia de estimaciones y limitantes de tiempo en los procesos, una mala coordinación entre personal, que además de ser independientes a la empresa, la cantidad requerida varía en cada etapa del proceso dependiendo de la operación realizada; esto incide en que se tengan más o menos personas en cada fase del proceso, además de tener una mala coordinación y relación por el constante cambio del mismo. La falta de dicha planeación, también incluye los recursos, tanto los que se consumen y generan valor, como los que se desperdician y generan costos.

Como todas las empresas con procesos de producción “normales” (y tal vez en mayor proporción), existen desperdicios, siendo los principales: sobreproducción, esperas o tiempos de inactividad, transportes innecesarios, sobre-procesamientos, exceso de inventarios, movimientos innecesarios, defectos de calidad y falta del aprovechamiento del talento de las personas. En conjunto, todo lo anterior provoca que los costos de

producción no sean cuantificados objetivamente y, por tanto, no se conozca la eficiencia de las operaciones en términos monetarios.

## **1.2. Planteamiento del problema**

El proceso de obra en una empresa de construcción es el más crítico debido a su alto consumo de tiempo y recursos, por sus actividades y procesos inestables la organización sigue el método de construcción convencional, acostumbrado a resultados basados en una eficiencia deficiente; esto se ve reflejado en primera instancia en desperdicios, entre ellos esperas o tiempos de inactividad, transportes innecesarios, sobre procesamientos, exceso de inventarios, movimientos innecesarios, defectos de calidad, por mencionar algunos.

De esta manera, la falta de una metodología que ayude a planificar, coordinar y optimizar los recursos de la empresa, provoca altos costos en el proceso constructivo.

## **1.3. Objetivo general**

Adaptar e implementar una metodología basada en la filosofía LC en el área de obra de una empresa de construcción, con el fin de que los procesos y actividades que agregan valor sean priorizadas y mejoradas, lográndose con ello mejorar la planeación, coordinación y la eficiencia general en el proceso constructivo.

## **1.4. Objetivos específicos**

- Detectar que procesos y actividades son relevantes para el estudio y hacer un análisis previo de las mismas.
- Elaborar una propuesta metodológica para la implantación del sistema de construcción esbelta, con la finalidad de lograr la planeación y coordinación dentro del proceso constructivo.
- Implementar la metodología con las adaptaciones requeridas a las particularidades de la organización, de forma que se impacte en la disminución de desperdicios y se optimicen recursos.



- Evaluar el uso de la metodología aplicada, comparando los resultados obtenidos contra la situación inicial.

## **1.5. Hipótesis**

La implementación de una metodología basada en la filosofía LC dentro de una empresa constructora de viviendas permitirá una mejor planeación y coordinación en los procesos constructivos, optimizando recursos y disminuyendo desperdicios.

## **1.6. Alcances y delimitaciones**

El estudio implica la implementación de una metodología basada en la filosofía LC en el proceso de producción, es decir, en las áreas que estén directamente vinculadas con el proceso productivo. Abarcará la identificación, adaptación e implementación de herramientas LC que permitan la planeación y coordinación de recursos y actividades para observar mejores prácticas en los procesos, impactándose directamente la rentabilidad económica de la empresa.

## **1.7. Justificación**

El proyecto se desarrollará debido a que la teoría, posteriormente sustentada en el marco teórico y la práctica afirman que las empresas de construcción presentan altos índices de desperdicio de materiales y tiempo, lo cual se ve reflejado en sobrecostos, bajos niveles de eficiencia, retrasos en la programación de obra y reducción el margen de utilidad. La empresa necesita hacer planeaciones de sus proyectos y hacer predicciones con datos concretos y no sólo con base en experiencia.

La aplicación de una metodología basada en la filosofía LC, beneficiará tanto el proceso como la planeación de los recursos en el sector constructivo, disminuyendo los desperdicios generados.

## **2. MARCO DE REFERENCIA**

El enfoque central de esta investigación estará puesto sobre la filosofía de trabajo “Lean Construction”, sin embargo, como proyecto aplicado a una empresa constructora de viviendas, el objetivo es aplicar su esencia y no sólo las herramientas consideradas en ella. Es necesario plantear parámetros que sirvan de ejes conceptuales sobre los que apoyar la lectura interpretativa del trabajo. Para empezar, se abordará la situación actual de la construcción en México y el impacto de sus malos hábitos, continuando con el concepto de sistema de producción para comprender los cambios que surgen en el sector constructivo y plantear una metodología adecuada para la obtención de resultados similares a los obtenidos en la industria manufacturera.

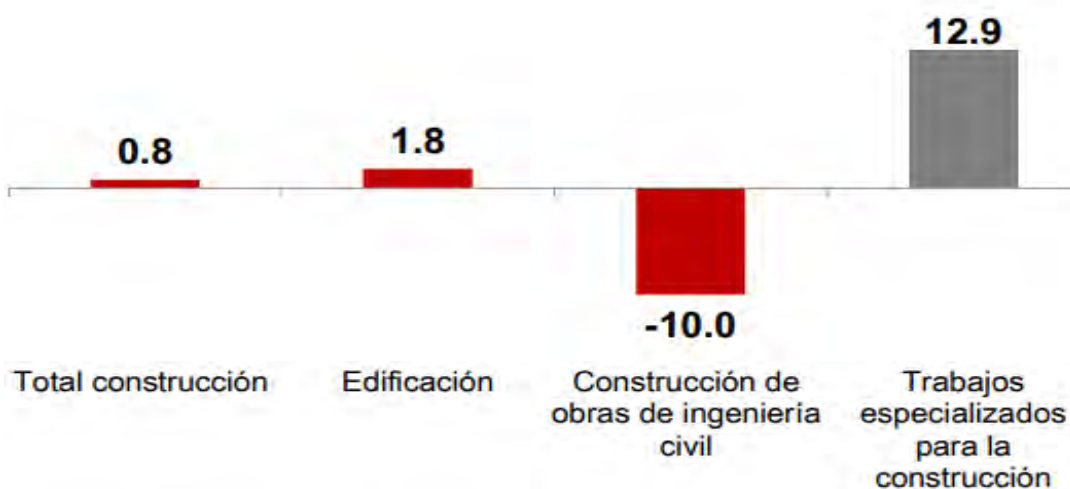
### **2.1. La construcción en México**

El sector de la construcción en México es muy importante ya que brinda elementos de bienestar básicos en una sociedad al ser los encargados de construir puentes, carreteras, puertos, presas, plantas generadoras de energía eléctrica, industrias, así como viviendas, escuelas, hospitales, y lugares para el esparcimiento y la diversión como los cines, parques, hoteles, teatros, entre otros. Este sector al tener una amplia gama de trabajos, trabajos que utiliza insumos provenientes de otras industrias como el acero, hierro, cemento, arena, cal, madera, aluminio, etc., es uno de los principales motores de la economía del país ya que beneficia a 66 ramas de actividad a nivel nacional (INEGI, 2009).

La Industria de la Construcción representa 7.1% del Producto Interno Bruto del país, situándose por encima de sectores como la minería, la agricultura o la energía, que alcanzan un 3.9%, 3.8% y 1.5%, respectivamente. Por el contrario, esta industria tiene una menor importancia si se le compara con el Comercio que alcanza el 15.5% o con las Industrias Manufactureras que registran un 17.6% del PIB, pero aun así la construcción es un sector clave para la economía del país (CONAVI, 2016).

La Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI) (2016) afirma que la construcción es una fuente importante de empleo, en base a los resultados de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), que genera el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), ya que participa con el 8.3% del personal ocupado total del país.

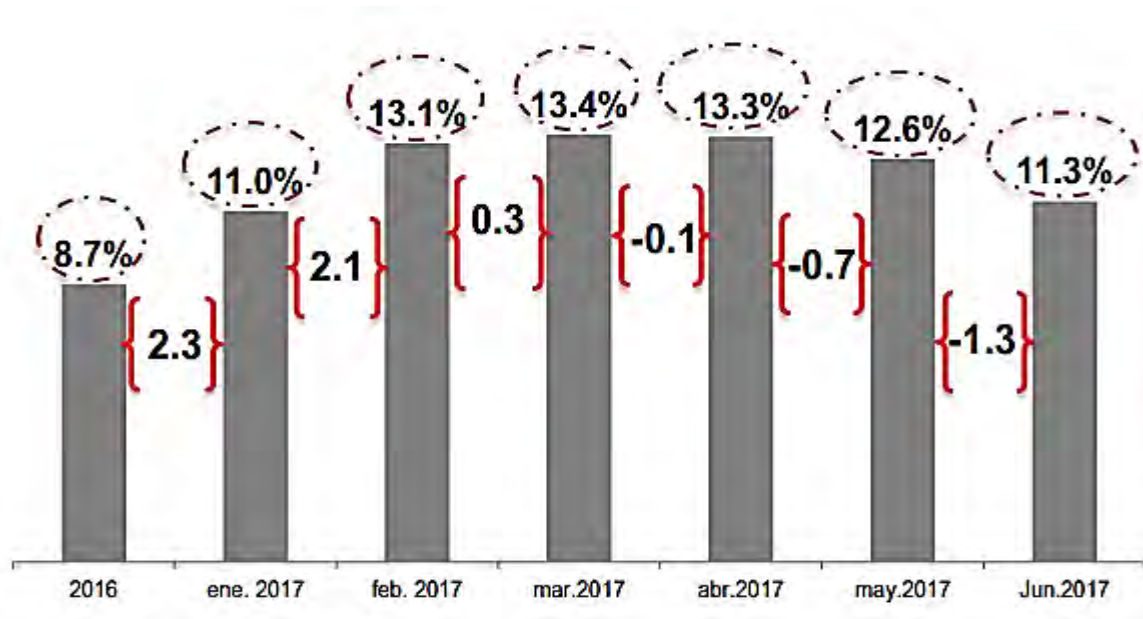
Lamentablemente, a pesar de la importancia de esta industria, en los primeros cinco meses del año 2017 el valor de producción de la Industria de la Construcción registró una caída de (-) 0.2%, con relación al mismo lapso de 2016. Sin embargo, al mes de mayo de 2017, el sector de la Construcción presentó un ligero aumento en su actividad económica de (+) 0.8%, frente al mismo mes de 2016. Esta situación estuvo influenciada principalmente por: un aumento en las Obras relacionadas con la Edificación (Obra privada) de (+) 1.8% (ver figura 2.1) (CMIC, 2017).



**Figura 2.1.** Var% de la actividad constructiva real contra el mismo mes del año anterior, CMIC 2017.

La participación de la industria constructiva está bajando y en gran medida se debe a los problemas económicos del país. En la actualidad la elevación de los precios de la materia prima es constante, en la figura 2.2 se puede observar que al inicio del año 2017 los precios despegaron de forma abrupta, sin embargo, durante el mes de junio del año 2017 y por tercera ocasión en el año, los precios de los materiales e insumos

de la construcción registraron un descenso, en comparación con el mes anterior. Pero podemos observar que el descenso se debe a un aumento significativo el mes de



**Figura 2.2.** Incremento y decremento de los precios en los insumos de la construcción, CMIC 2017.

marzo, es decir que los precios de los insumos aun representan precios elevados (CEESCO, 2017).

Aunque la gráfica muestre descenso, de acuerdo al próximo incremento en los precios del cemento, se espera que se registre nuevamente un salto en los precios de los materiales e insumos para la construcción, ante esta situación, se estima que la inflación en la industria de la construcción para 2017 estaría oscilando entre 12.0 a 17.5% (CEESCO, 2017).

Todo el panorama anterior de subidas de precios y la disminución de su participación en el aporte económico del país son sólo el resultado del problema principal, es decir, esta industria lleva años trabajando bajo una misma técnica, misma que hoy en día es ineficiente, los malos hábitos y su cultura arraigada está acabando con la industria de forma indirecta; con el panorama a futuro proyectado más empresas constructoras

están en busca de nuevas técnicas de trabajo que puedan brindar un mejor futuro (Abdelnaser y Abdulsalam, 2015).

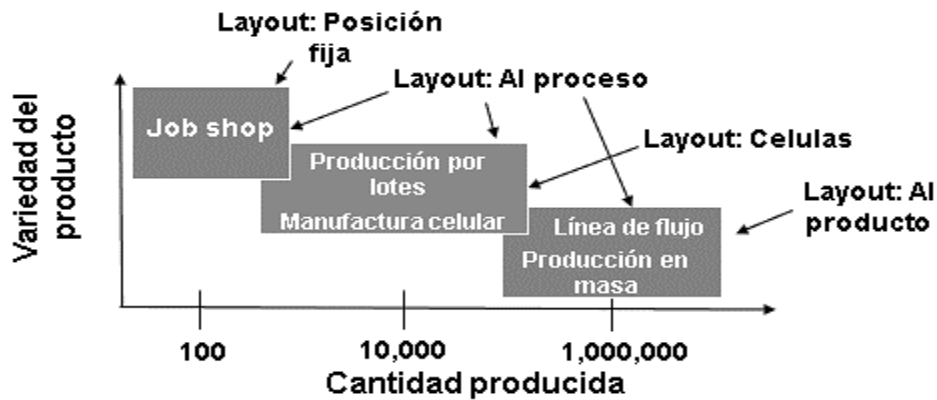
Como resultado de lo expuesto anteriormente, se puede concluir que la construcción es un área de vital importancia para la economía de un país. No en vano, muchos la consideran, más que una actividad, un verdadero motor que impulsa el progreso de una sociedad. Sin embargo, y a pesar de ser una actividad de gran importancia, clave en la economía y desarrollo de un país, presenta un bajo grado de desarrollo, no es entendible cómo a pesar del desarrollo tecnológico y metodológico experimentado en los últimos años en otros sectores, la industria de la construcción no haya aprovechado tales avances para ser más productivo (Arce Manrique, 2009).

A continuación, se explica la esencia de un sistema de producción, seguidamente se razona el por qué la industria constructiva no se acopla a los métodos usuales en la industria manufacturera y algunas posibles soluciones para adaptar la construcción a un sistema de producción convencional.

## **2.2. Sistema de producción**

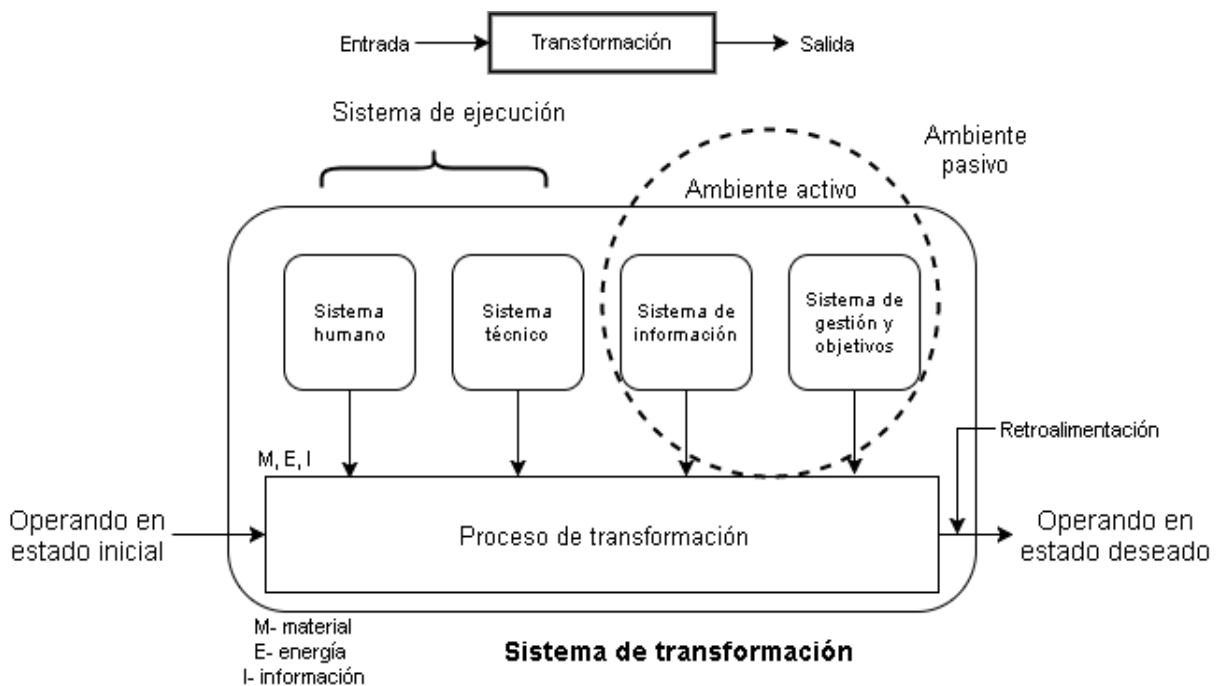
Producción es el conjunto de procesos y operaciones coordinadas para lograr un fin común; implica principalmente transformar materia prima en un producto terminado para posteriormente ser llevado a las manos de un cliente. Todo proceso de producción conlleva flujo de material e información en tiempo y espacio (Shingo, 1990).

Un sistema de producción incluye el área física de la fábrica, las máquinas de producción y los útiles, el equipo de manipulación de materiales, el equipo de inspección, los sistemas informáticos que controlan las operaciones de fabricación y lo más importante las personas que son las responsables de los resultados obtenidos. Un sistema de producción se puede clasificar generalmente de acuerdo a su capacidad de producción y variabilidad anual o bien por su tipo de proceso (ver figura 2.3) (Groover, 2007).



**Figura 2.3.** Clasificación de los sistemas de producción, adaptación a partir de Groover (2007).

Según Giraldo-Betancur (2009) independientemente de la clasificación que tenga un sistema de producción, toda empresa con fines lucrativos sigue un mismo patrón de diseño en su sistema, en la figura 2.4 se muestra dicho modelo.



**Figura 2.4.** Enfoque de un sistema de producción- transformación, adaptación de Holstein y Tanenbaum (2007).

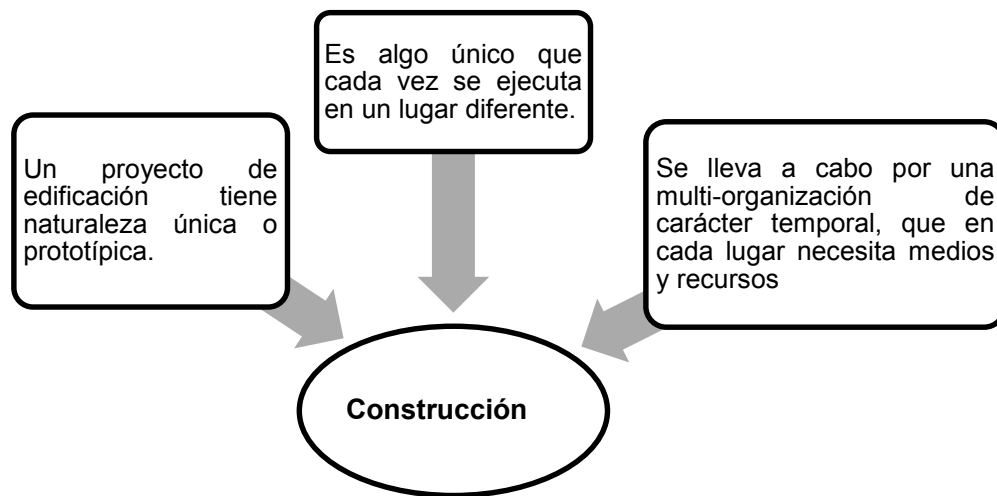
### **2.3. Sistema de producción y la industria de la construcción**

De acuerdo con la clasificación de los sistemas de producción (figura 2.3) y el enfoque que tienen (figura 2.4), el proceso constructivo podría entrar dentro de alguna de las categorías mencionadas. Sin embargo, aún al obtener una descripción, una clasificación y un comportamiento sistémico similar a un sistema de producción, es considerado aislado en cuanto a la implementación de métodos en los procesos para la obtención de resultados favorables (Bautista, 2016). La industria de la construcción, según los investigadores, se ve como una industria que avanza lentamente y con numerosos problemas. En los últimos 60 años la industria se estudia a través de varios informes con el fin de examinar sus resultados y sugerir medios de mejora (Saad, Christine y Andrew, 2017).

Esta industria es considerada en la actualidad como una industria inexacta en la que se asumen cambios de última hora, errores de diseño, subidas de precio, cambios de materiales, retrasos, etc. La construcción alberga dentro de sí imprecisiones que no se contemplan en otras industrias, por lo tanto las mismas constructoras se rezagan de la producción convencional considerándose un caso especial resignado a malos resultados dejando por fuera todo tipo de cambio (Bautista, 2016).

En el sector constructivo se han rechazado muchas ideas provenientes de las industrias manufactureras por el sentimiento interno de creerse diferentes. La ventaja evidente de la industria manufacturera, es que no carga con el diseño y la construcción de proyectos complejos y únicos bajo circunstancias desconocidas, pero no todo son diferencias entre las dos industrias (Espuny y Schneider, 2009).

Lauri Koskela (2000) clasificó y definió las tres principales peculiaridades que presenta la construcción en comparación con la fabricación, estas diferencias representan la separación entre una industria y otra, logrando comprender la forma de trabajo tan inusual en la construcción (figura 2.5):



**Figura 2.5.** Diferencias entre la construcción y la fabricación, (Koskela, 2000).

Es poco usual, sin embargo es posible observar un proyecto de construcción como sistema de producción, esto implicaría reconocer sus elementos de entrada-procesos-salidas, y las características apropiadas para obtener los resultados de acuerdo con la estrategia de producción que la organización establezca, considerarlos iguales merece un estudio sustancioso que consiste principalmente en disciplina y compromiso (Cano *et al.*, 2015).

### 2.3.1. Proceso Constructivo

La construcción de una obra es básicamente un sistema productivo y por esta razón, debe ser administrado. Para que los “inputs” o entradas sean transformadas en los productos finales, que son las obras terminadas, es necesario planear, coordinar, dirigir, organizar y controlar las actividades del proceso de elaboración de cualquier obra (Arce Manrique, 2009).

Algunos autores como Roy *et al.* (2005;2003), y Martínez (2011) con el paso del tiempo siguen concordando en las características representativas de un sistema de construcción, a continuación en la tabla 1 se muestran algunas de las principales:



<b>Características sistema constructivo</b>	Se desarrolla generalmente más a través de la costumbre y la práctica en lugar del análisis formal de los métodos existentes .
	Falta de normas y de mecanismos de revisión del proceso o compartir conocimientos y buenas prácticas .
	Variabilidad del proceso, mala calidad de construcción y lento ritmo de innovación .
	Tiene un tradicional proceso de creación artesanal el cual se desarrolla con mano de obra intensiva a largo plazo y difícilmente se controla la calidad del producto .
	En la construcción se han detectado diferentes factores que afectan la productividad, los cuales generalmente recaen sobre la falta de información o incomprensión de lo que el cliente realmente está esperando, la coordinación entre los diseñadores, contratistas y contratante, la planeación y el control de la planeación .

**Tabla 1.** Principales características del sistema constructivo de acuerdo a como Roy et al. (2005;2003) y Martínez (2011).

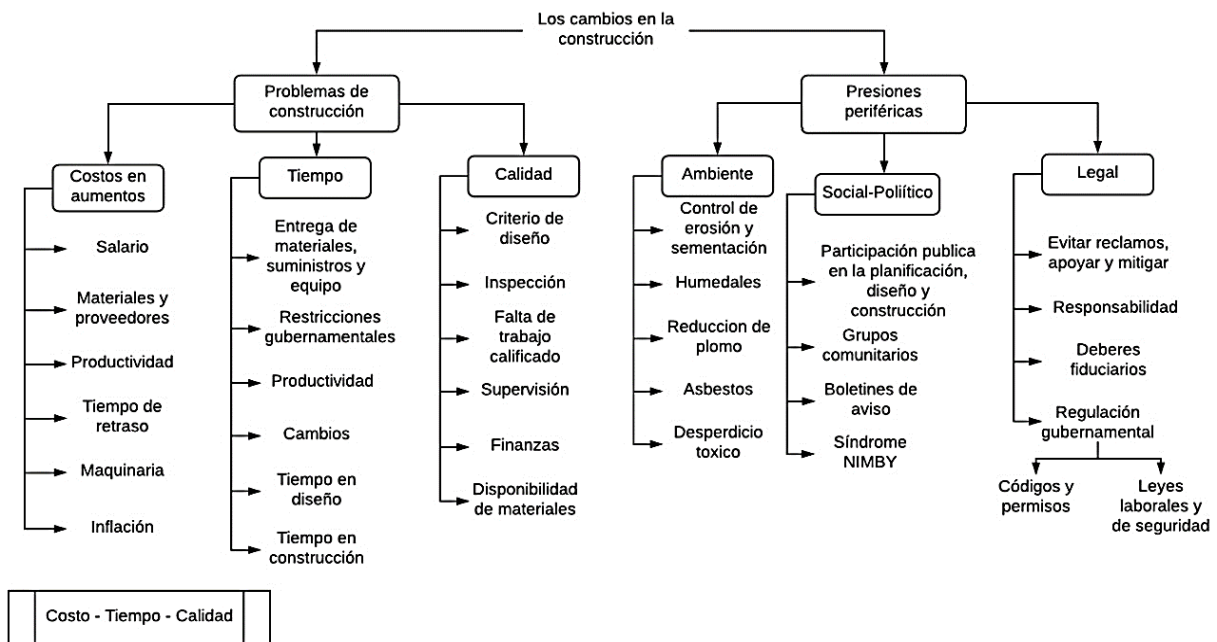
La mala gestión y los problemas de la construcción son altamente conocidos, su productividad es inferior a la industria manufacturera y en cuanto a seguridad laboral es notoriamente peor que en otras industrias. Debido a las condiciones de trabajo inferiores, hay escasez de mano de obra en el sector de la construcción en muchos países y debido a la variabilidad de la calidad de la construcción se considera insuficiente el producto final (Koskela, 1992).

La industria de la construcción conforma una parte importante de los resultados económicos de un país, por tanto, la introducción y aprobación de nuevos sistemas de gestión en su ejecución son indispensables para mejores rendimientos y la obtención de resultados viables, por consiguiente se merece especial atención en la implementación de nuevas metodologías (Díaz, Rivera y Guerra, 2014). Como es natural en los seres humanos han buscado propuestas que puedan contrarrestar estos problemas. Estos generalmente tienden a ser versiones de los procedimientos adoptados por el sector manufacturero y ligeramente modificados para adaptarse a las condiciones de la industria de la construcción (Fadhil Dulaimi y Tanamas, 2001).

### 2.3.2. Principales problemas en la construcción

La industria de la construcción está plagada de graves problemas, como su baja rentabilidad, la escasez de trabajadores calificados y la falta de inversión en investigación y desarrollo. Estos problemas se pueden atribuir a una serie de causas posibles, incluida la intensidad de mano de obra del proceso y la aparente dificultad que tiene la industria para adoptar nuevas tecnologías (Proverbs, Holt y Cheok, 2000).

Hay numerosos desafíos que enfrenta la construcción de hoy. Algunos son problemas nuevos para la industria, y algunos tienen siglos de antigüedad. Muchos de estos desafíos son el resultado directo de las operaciones de construcción, mientras que otros son resultado de actividades indirectas y periféricas. En la figura 2.6 se observa la concentración de ellos según Muir (2005).



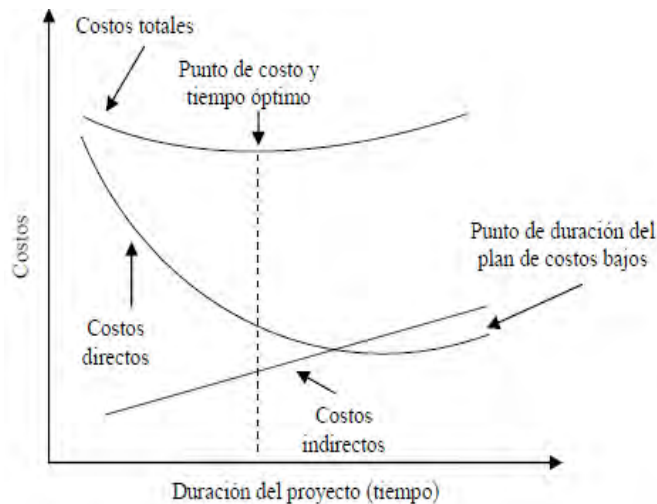
**Figura 2.6.** Principales problemas en la industria constructiva, adaptación a partir de Muir (2005).

A continuación, se describen brevemente algunos de estos problemas y el impacto que tienen sobre el proceso constructivo:

## Retrasos

En la construcción, el retraso podría definirse como el tiempo rebasado ya sea más allá de la fecha de finalización especificada en un contrato, o más allá de la fecha en que las partes acordaron la entrega de un proyecto. Para el propietario, el retraso significa la pérdida de ingresos por falta de instalaciones de producción y espacio rentable o una dependencia de las instalaciones actuales. En algunos casos, para el contratista, el retraso significa mayores costos generales porque de un período de trabajo más largo, mayores costos de materiales y aumento en el costo laboral (Assaf y Al-Hejji, 2006).

El retraso en un proyecto puede afectar directamente la rentabilidad del proyecto, la razón de esto se debe a que el costo total de un proyecto es la suma de los costos directos e indirectos (figura 2.7); éstos últimos continúan durante la vida del proyecto, es decir en la medida en que disminuye la duración del proyecto también se reducirán los costos indirectos; por otro lado, los costos directos se incrementan cada vez que se reduce el tiempo de ejecución del proyecto con respecto a la planeación original (Blanca y Ochoa, 2011).



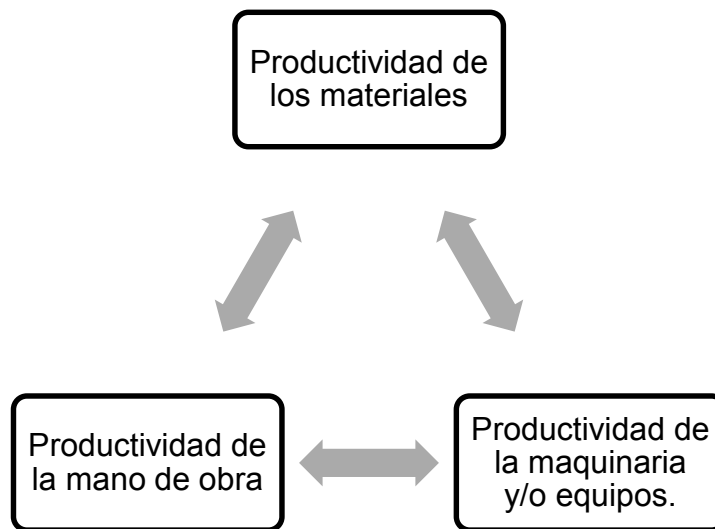
**Figura 2.7.** Costos totales de producción (Suarez, 2005).

Completar proyectos a tiempo es un indicador de eficiencia (Suarez, 2005), pero el proceso de construcción está sujeto a muchas variables y factores impredecibles, que se seguirán explicando a lo largo del documento.

### Baja productividad

La productividad es un medible y un elemento en toda empresa que implica una relación entre la cantidad producida de un determinado producto y los recursos empleados para su elaboración. Además, la productividad es directamente proporcional a un alto estándar de calidad, es decir la productividad involucra eficiencia y efectividad (Martinez, 2011).

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



**Figura 2.8.** Productividad en la construcción (Martinez, 2011).

Los cuales al interactuar representan la productividad de la construcción en su totalidad, al medirlos ayudan a regular el rendimiento del sistema constructivo y servir como base para la mejorar del sistema (Martinez, 2011) .

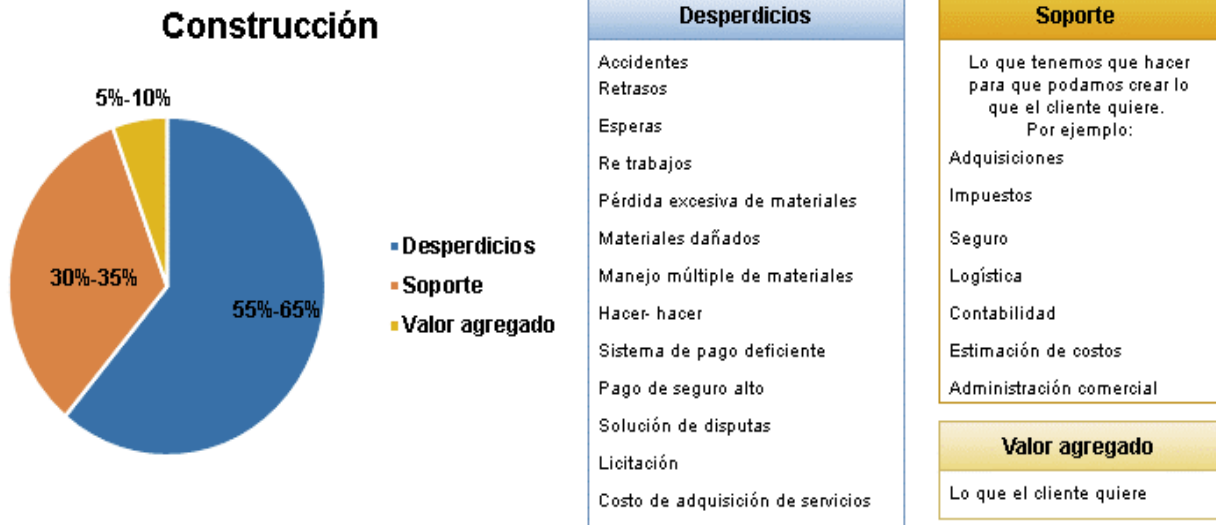
En la industria de la construcción siempre se observan bajos niveles de productividad, el trabajo de Dozzi y AbouRizk (1993) muestra los resultados obtenidos en la investigación realizada por el Consejo de Desarrollo de la Industria de la Construcción, que consistía en estudiar el porqué de estos resultados, la investigación incluía un cuestionario sobre los factores que afectan la productividad de la construcción, se obtuvieron siete categorías y 95 factores. La tabla 2 enumera los factores más serios dentro de cada una de las siete categorías.

<b>Factores que afectan seriamente la productividad en la construcción</b>	
<b>CATEGORÍA</b>	<b>FACTORES</b>
Condiciones del proyecto	Variabilidad del clima
Condiciones del mercado	Escasez de materiales
	Falta de experiencia en el diseño y el proyecto
	Personal de administración
Diseño y adquisición	Gran cantidad de cambios
Gestión de la construcción	Comunicación ineficiente
	Inadecuada planeación
	Falta de formación suficiente en materia de supervisión
Mano de obra	Reglas sindicales restrictivas
Política gubernamental	Aprobación y expedición de permisos lentos
Educación y entrenamiento	Falta de gestión en materia de supervisión y proyecto

**Tabla 2.** Factores que afectan las productividad, adaptación a partir de Dozzi y AbouRizk (1993).

## **Desperdicios**

Según Saad, Christine y Andrew (2017) es ampliamente aceptada la idea de que hay una cantidad considerable de desechos de extremo a extremo (es decir desde el diseño hasta la entrega al cliente) en la construcción. La evidencia empírica apunta a residuos en exceso del 50% del tiempo constructivo (ver figura 2.9), donde los desechos se definen como algo que no es necesario para crear valor para el cliente o usuario final.



**Figura 2.9.** Análisis y ejemplos de residuos en la construcción, (Saad, Christine y Andrew, 2017 citado en mossman, 2009).

Una metodología muy conocida en el ámbito laboral es la manufactura esbelta, esta metodología se basa principalmente en la eliminación de desperdicios. Cada actividad debe ser considerada como un residuo, a menos que: cumpla con un requerimiento explícito del cliente y no se pueda demostrar que se realiza de manera más económica (Leanman, 2015).

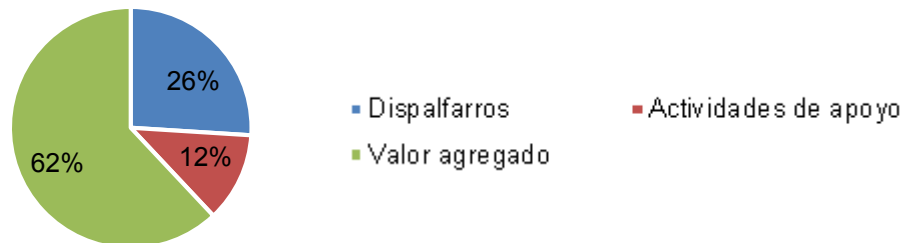
Varios autores incluyendo a Pace (2008) siguen concentrándose en los 7 desperdicios básicos de toda industria que son: transporte, inventario, movimiento, tempo/espera, exceso de producción, procesamiento y defectos. A continuación, una introducción los desperdicios más críticos desde el punto de vista constructivo.

**Tiempo/Espera:** Debido a la amplia gama de factores que pueden influir en el progreso de cualquier obra de construcción y los diferentes grados de control que cada parte tiene sobre ellos, es obviamente imposible fijar de antemano la fecha en la que las obras de construcción pueden ser completadas. La posibilidad de que la fecha real de terminación sea igual a la fecha contractual, da lugar a uno de los riesgos fundamentales de cualquier proyecto de construcción (Abbott, 2015).

El tiempo es un factor importante en cualquier industria y debe poder aprovecharse, ya que es un medible que impacta y hace la diferencia en muchos aspectos. En la industria de la construcción como se observa en la figura 2.9 solo un 10% del tiempo añade valor al producto final, un 33% es tiempo que se puede asociar a desperdicios imprescindibles y un 57% de éste es tiempo desperdiciado (Saad, Christine y Andrew, 2017).

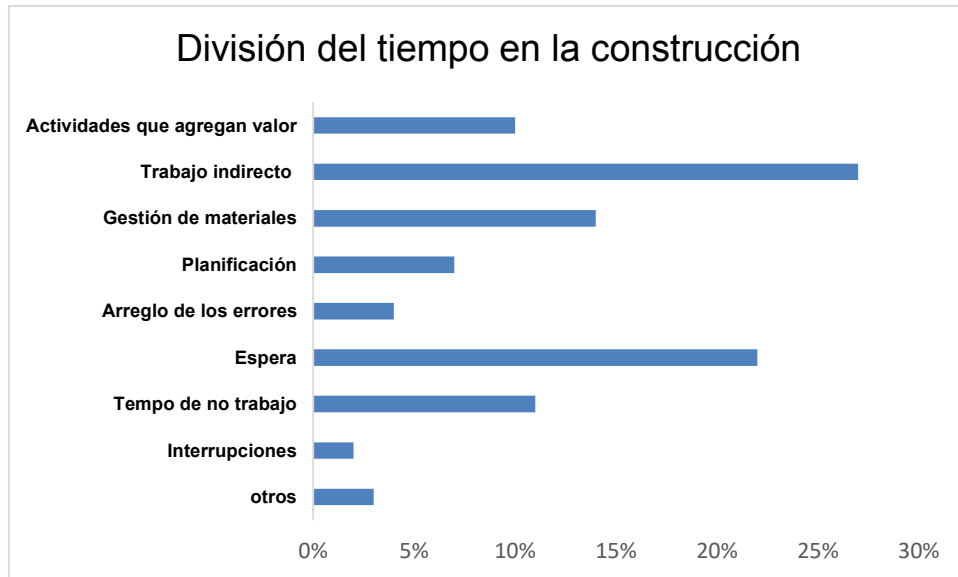
Para la industria “Lean Manufacturera” (figura 2.10) los resultados son mejores, ya que un 62% del tiempo total se dedica a añadir valor al producto final, un 12% del tiempo total es dedicado a los desperdicios imprescindibles y por último un 26% es tiempo desperdiciado. Comparando las dos figuras, se concluye que la industria manufacturera tiene menos de la mitad de tiempo desperdiciado y emplea hasta 6 veces más el tiempo en añadir valor al producto final, por lo cual emigrar del sistema actual constructivo a uno que predice mejores resultados parece factible (Simonsson y Emborg, 2007).

### Industria manufacturera



**Figura 2.10.** División del tiempo en la industria manufacturera, (Simonsson y Emborg, 2007).

Con base en lo anterior se puede concluir que la industria manufacturera está por arriba de la industria constructiva en cuanto a aprovechamiento del tiempo, por tal motivo es necesario acercar lo más posible los métodos convencionales de producción a el proceso constructivo, para eso es necesario empezar a analizar en qué porcentajes gasta su tiempo la industria de la construcción (figura 2.11) (Simonsson y Emborg, 2007).



**Figura 2.11.** División de tiempo en la construcción, adaptación a partir de Simonsson y Emborg (2007).

**Mano de obra:** Se cree que la composición cambiante de la fuerza de trabajo puede ser un factor en la disminución de la productividad de la construcción (Gilbert, 2012).

Dicha rotación se debe a que en licitaciones y contratos de obra se observa de forma constante la dificultad en la determinación de la cantidad de mano de obra necesaria debido a que no existen estándares de rendimiento confiables. Por otro lado, las empresas constructoras no llevan registros históricos adecuados de los tiempos que demanda cada actividad, no cuentan con la capacidad de dar uniformidad a los empleados y además si la mano de obra no tiene capacitación, da como resultado en una gran rotación de personal (Navas, Ridl y Torés, 2012).

Además de la rotación, otro factor relacionado con la mano de obra que afecta la viabilidad de un proyecto es el tiempo de ejecución, ya que, como en toda empresa, la mano de obra se divide en directa e indirecta, la mayoría de las empresas constructoras dejan por un lado la parte indirecta dedicándose solamente a ejecutar sin planeaciones previas, sin embargo, todos los recursos indirectos que una empresa invierta



en planear la ejecución de la construcción se justifican ampliamente debido a que llevan a un análisis profundo del proyecto, lo que pondrá las bases para poder realizar un control efectivo del mismo (González, Solís y Alcudia, 2010).

Al igual que los costos de producción, la mano de obra indirecta continúa durante la vida del proyecto, es decir en la medida en que disminuye la duración del proyecto también se reducirán los gastos en mano de obra indirecta. Encontrar un tiempo óptimo de ejecución en la que los gastos indirectos no consuman la utilidad es vital para los proyectos de construcción (Blanca y Ochoa, 2011).

**Inventario:** El área de almacén es uno de los componentes que interviene en la red logística (que involucra a los diversos niveles por donde pasan los materiales desde el origen hasta el producto final) y tiene gran importancia tanto para la empresa en particular, como para la red logística en general, ya que sirve de elemento regulador en el flujo de mercancías. Un almacén bien gestionado da equilibrio a toda la empresa, pues es capaz de estabilizar la producción con la demanda, ya que intenta sincronizar las distintas necesidades de la fabricación con las fuentes de suministros y la demanda por parte de los clientes (compradores finales), además supone ofrecer permanentemente las mercancías a estos últimos. Es importante que paralelamente de tener un suministro constante, los clientes reciban un producto de calidad y a tiempo (Escrivá Monzó y Savall Llidó, 2005).

Una incorrecta administración en estas áreas puede ocasionar demoras en el sitio de construcción y, en consecuencia, la caída de la tasa de producción y aumento de costos. Otros factores que causan afectaciones es el almacenamiento irracional de materiales, productos y estructuras, la necesidad constante de solicitar suministros en cantidades pequeñas que aumenta el tiempo requerido para buscar productos, ocasionando tiempos de inactividad frenando otros procesos, la pérdida de la productividad del trabajador y, en consecuencia, de los equipos y el lugar de las obras en su conjunto, y, como resultado aumentar los costos y reducir las ganancias (Radchenko y Petrochenko, 2014).

**Proyectos únicos:** Cada proyecto se diseña para un propósito u objetivo específico, y no hay dos proyectos que sean idénticos. En el caso de hacer una serie de adquisiciones, cada objetivo es distinto, y el diseño y la realización de cada adquisición son diferentes (Wallace, 2014). La corporación Intergraph (2012) respecto a lo anterior dijo que incluso aquellos con exactamente el mismo diseño tendrá algunos diferencia- dores, incluyendo:

- Diseño o capacidad
- Las condiciones del lugar, tales como el suelo, el drenaje, etc.
- Condiciones climáticas tales como el clima (lluvia, nublado, etc.) y la tempera- tura
- Cambios de temporada
- Mano de obra y las condiciones de trabajo
- Experiencia frente a factores como la curva de aprendizaje y datos heredados de anteriores proyectos
- Factores intangibles tales como la moral, fatiga y actitud, que conduce al ab- sentismo, la rotación y el tamaño de la tripulación ineficiencia
- Acceso al lugar de construcción
- Imprevistos en errores y omisiones, paros laborales, retrasos, etc.
- La ubicación de la fuente de alimentación de materiales
- Gubernamentales o los requisitos reglamentarios
- Proximidad al transporte y logística.

**Clima:** Las condiciones meteorológicas pueden afectar muchos aspectos del pro- yecto de construcción, desde el trabajo en el sitio hasta el confort del trabajador. El clima siempre está aquí. Siempre está a nuestro alrededor. Como dice el viejo refrán, "Todo el mundo habla del tiempo, pero nadie hace nada al respecto". Es cierto que el clima no puede ser controlado. Pero, los profesionales de la construcción pueden pre- pararse para ello y adaptarse a las condiciones resultantes. La preparación adecuada,

el ajuste y la reacción al clima local influirán en el éxito de un proyecto de construcción y el edificio terminado (Crissinger, 2005).

### **2.3.3. Oportunidades de mejora del sector de la construcción**

Una serie de soluciones han sido propuestas para componer los miles de problemas que se observan en el sector constructivo. La industrialización (es decir, la prefabricación y modularización) durante mucho tiempo ha sido considerada como una opción, la visión de la construcción de forma automatizada y robotizada, también ha sido blanco de ideas, sin embargo, las complejidades de las soluciones ante los actuales alcances las vuelven difíciles de alcanzar (Koskela, 1994).

La rápida tendencia de la globalización y los cambios tecnológicos han dificultado que las organizaciones de la construcción sobrevivan en el mundo competitivo. Es difícil enfrentar los desafíos del actual escenario de negocios globales sin ser más ágil, adaptable y eficiente. Para desarrollar la experiencia y los recursos necesarios, la capacitación en gestión de proyectos de construcción es la clave. Para poder operar de manera efectiva en un entorno tan competitivo, los profesionales de la construcción deben tener conocimientos de gestión de proyectos y habilidades y competencias esenciales (Faisal, 2014).

#### **Gestión de proyectos de construcción**

La gestión de proyecto, entonces, es el uso del conocimiento, habilidades y técnicas para ejecutar proyectos de manera eficaz y eficiente. Se trata de una competencia estratégica para organizaciones, que les permita vincular los resultados de un proyecto con las metas comerciales para posicionarse mejor en el mercado (Wallace, 2014).

La gestión es importante en todos los factores que incluye la construcción, uno de ellos son los materiales que en este caso su papel contempla una función coordinadora responsable de planificar y controlar el flujo de materiales. Incluye planificación y extracción de materiales, evaluación y selección de proveedores, compras, gastos, en-

vío, recepción de materiales, almacenamiento e inventario, y distribución de materiales. Es importante planificar y controlar los materiales para garantizar que la calidad y la cantidad correcta de materiales y equipos instalados se especifiquen de manera adecuada y oportuna, se obtengan a un costo razonable y estén disponibles cuando sea necesario. Muchos proyectos de construcción aplican métodos manuales, no solo para el seguimiento de materiales sino también para la gestión de materiales en general, y esto implica técnicas basadas en papel y es problemático por los muchos errores humanos que ocurren (Kasim, 2015).

La implementación de la tecnología de la información y la comunicación (TIC) en la gestión tiene el potencial de mejorar significativamente la gestión de los recursos en los proyectos (Kasim, 2015).

Como se mencionó al principio de este apartado, la gestión incluye la utilización de herramientas, habilidades y conocimientos lo cual incluye la tan mencionada producción esbelta, el impacto de esta parece mucho mayor que el de la tecnología de la información y la automatización juntas. Esta tendencia, que se basa en una nueva filosofía de producción, en lugar de sobre nuevas tecnologías, destaca la importancia de las teorías y los principios básicos relacionados con los procesos de producción (Koskela, 1994).

### **Construcción esbelta**

Los métodos de producción esbelta son aplicables más allá del contexto japonés diseñado inicialmente sólo para un determinado sector, dichas aplicaciones son motivo actualmente de numerosos debates, un grupo amplio de opiniones críticas argumenta que la aplicación de métodos bajo esta metodología depende de la hegemonía de la gestión durante el trabajo realizado (Green, 1999).

En el ámbito constructivo esta metodología es reconocida como Lean Construction (LC) (por sus siglas en inglés), que en español se traduce como construcción esbelta, esta filosofía consiste en cambiar el pensamiento tradicional de trabajo en el sector

construcción por medio de sistemas de gestión innovadores fundamentados en análisis de pérdidas, planificando las actividades con el objetivo de mejorar la productividad en la construcción, eliminando actividades que no aportan para el resultado de la obra (Rojas López, Henao Grajales y Valencia Corrales, 2017).

LC fue propuesto por Lauri Koskela (1992), esta filosofía analiza los principios y las aplicaciones del Just In Time y Total Quality Management e introduce cambios conceptuales en la gestión de la construcción para mejorar la productividad, enfocando todos los esfuerzos en la estabilidad del flujo de trabajo.

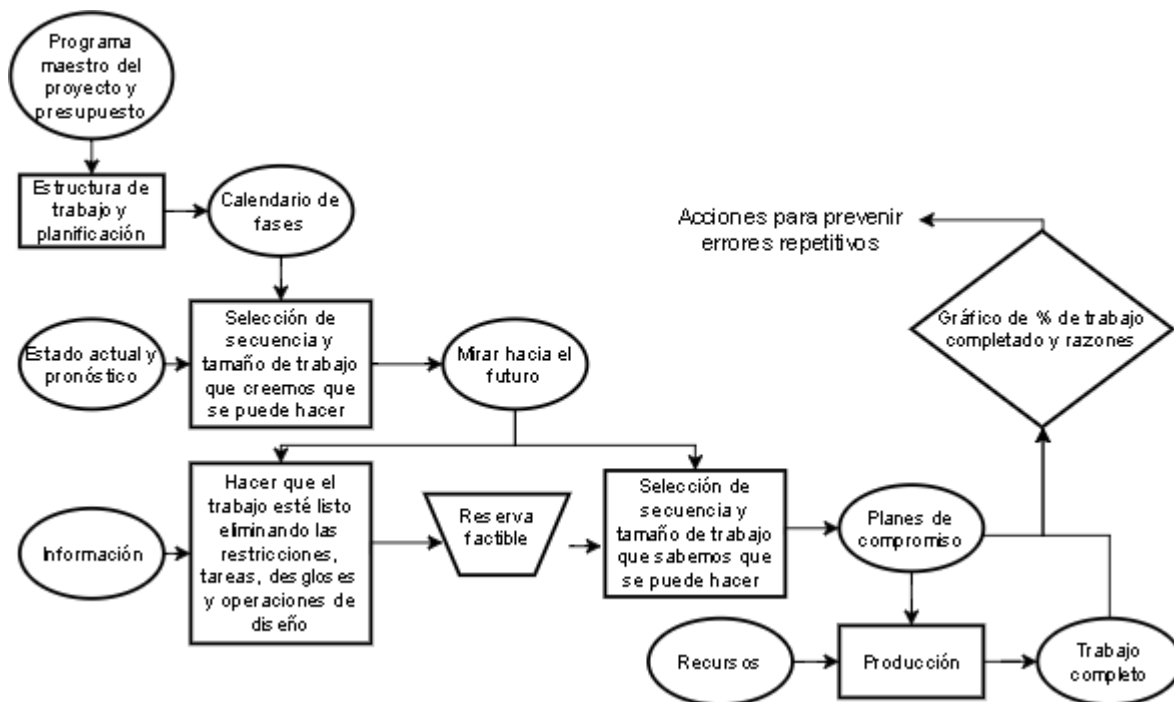
LC como una estrategia para mejorar la gestión de la producción en construcción, permite identificar objetivos claros en el proceso de entrega del producto, maximizar el valor para el cliente a nivel de proyecto, facilitar el diseño concurrente y la aplicación del control en todo el ciclo de vida del proyecto. Un proyecto gestionado por LC permite el alcance de los resultados de manera más eficiente (Cano *et al.*, 2015). Bajo esta filosofía existen algunas herramientas que dan resultados para los fines establecidos en la misma, entre ellos los más usuales son:

**Last planner:** se presentó como un nuevo método de planificación y control de la producción para hacer frente a las deficiencias de técnicas aplicadas en el sector constructivo, enfocado principalmente en apoyar la programación día a día de los proyectos. Facilita el seguimiento de los compromisos asumidos por el equipo de campo y asegura que dichos compromisos sean medidos. Este sistema también pretende asegurar que todos los prerrequisitos, las directivas y los recursos necesarios se cumplan antes de iniciar cualquier actividad (El-Sabek y McCabe, 2017).

Este método sirve para controlar las interdependencias entre las actividades de un proyecto y con ello reducir la variabilidad de los procesos, pero el último planificador no se refiere a una metodología en sí, se refiere a aquella persona que se encarga de controlar que las actividades a su cargo se cumplan, y las actividades no solamente son aquellas que se llevan a cabo en la fase de construcción, también va enfocado a las previas a esa etapa, como por ejemplo el diseño. La idea del último planificador es

involucrar a todas aquellas personas que participan en las actividades del proyecto a que ayuden en su planificación proponiendo tiempos y metas reales bajo la coordinación de un líder, quien es el encargado de organizar todas las ideas y materializarlas en una programación que se hace en dos niveles: intermedia y semanal (García, 2012).

En la siguiente figura se observa la estructura general de la técnica el último planificador:

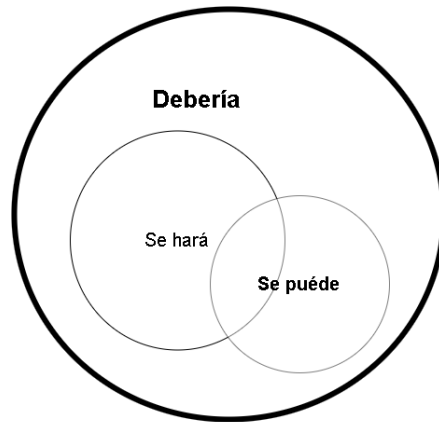


**Figura 2.12.** Marco de referencia a la técnica el último planificador, adaptación a partir de El-Sabek y McCabe (2017, citado en Ballard y Tommelein, 2016).

Como se observa se trata de un método relativamente fácil si se cuenta con la información adecuada, solo consiste en hacer cuadrar y embonar todas las etapas del proceso y definir metas adecuadas y dentro de los alcances (El-Sabek y McCabe, 2017).

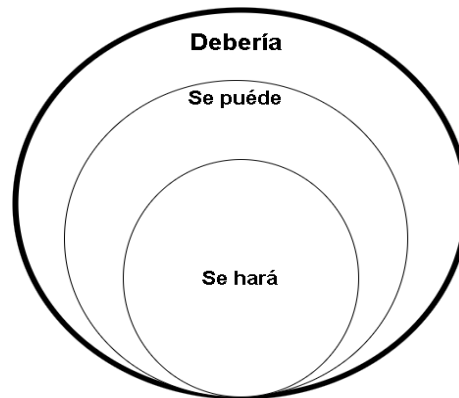
En la programación constructiva usual (figura 2.14) se propone una meta de tiempo para desarrollar una actividad, a esta se le conoce como lo que se “debería” hacer según la programación, este es el conjunto grande, dentro de este se encuentran dos subconjuntos lo que “se hará” y lo que se “puede” hacer y generalmente se ponen

metas muy exigentes sin tener en cuenta lo que realmente puede hacerse, haciendo que finalmente la intersección entre lo que “se hará” y lo que “puede” hacerse sea lo que finalmente se ejecuta (García, 2012).



**Figura 2.13.** *Filosofía de la planeación usual, (García, 2012).*

Contrario al proceso de programación “el último planificador”, al involucrar a aquellas personas que tienen un cierto nivel de conocimiento de las actividades a ejecutar pretende que lo que se “debería” hacer contenga a lo que se “puede” hacer y este a su vez contenga a lo que “se hará” como se muestra en la figura 2.15.

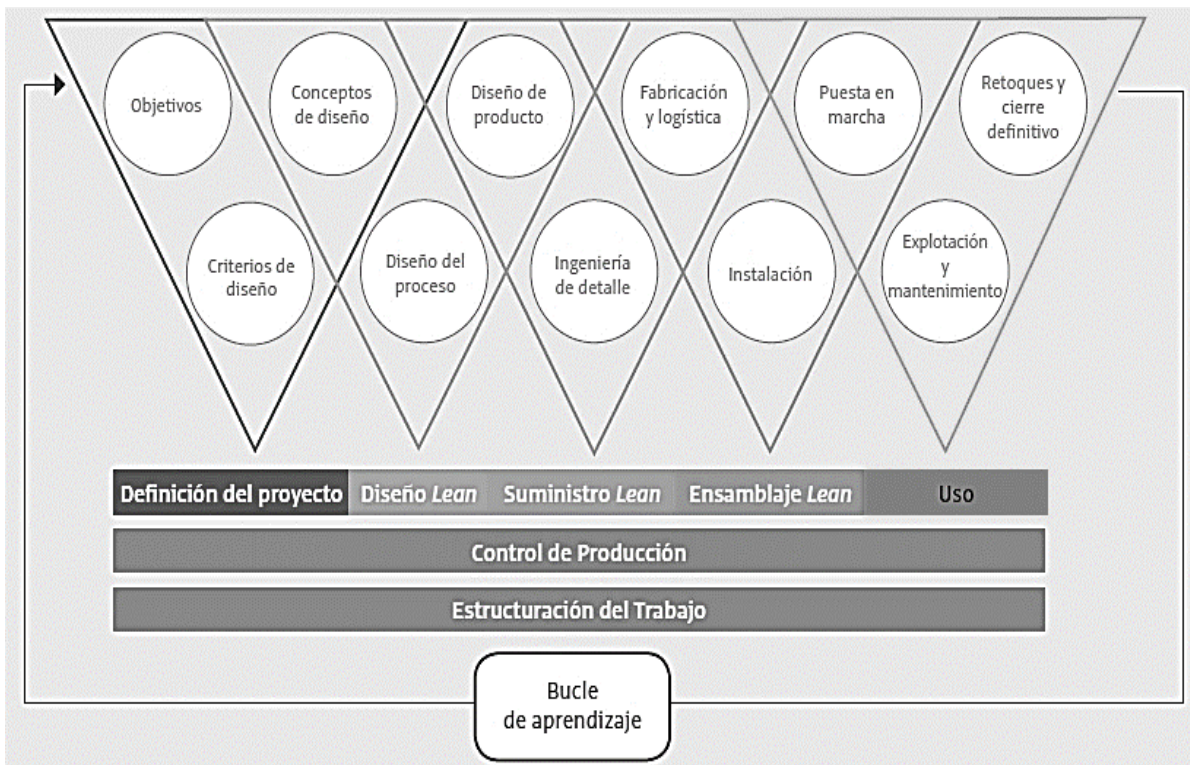


**Figura 2.14.** *Planificación según Lean Construction, (García, 2012).*

Lo que se pretende es que antes de definir lo que “se hará” se observe primero lo que “se puede” hacer, pero esto sólo se logra liberando restricciones y no proponiendo

objetivos muy bajos ni muy exigentes durante el proceso de planificación semanal, se debe tener claridad acerca de lo que realmente es posible ejecutar. De esta forma si se logra que el conjunto de lo que se “puede” hacer sea más grande, se conseguirá que el proyecto avance más rápido en busca de cumplir la programación acordada (García, 2012).

**Lean Project Delivery System (LPDS):** es un proceso colaborativo para la gestión integral del proyecto, a lo largo de todo el ciclo de vida de este. Se emplea un equipo en todo el proceso para alinear fines, recursos y restricciones. Se trata de un enfoque por etapas (figura 2.16) que comprende la definición del proyecto, el diseño, el suministro, el montaje o ejecución y el uso y mantenimiento posterior del edificio, instalaciones o infraestructura (Pons Achell, 2014).



**Figura 2.15.** Funcionamiento general de Lean Project Delivery System (Pons Achell, 2014).



**Integrated Project Delivery (IPD):** En la entrega de proyectos tradicionales, el propietario generalmente tiene un contrato separado con el arquitecto y el contratista general. Cuando se utiliza IPD, normalmente hay un contrato para todo el proyecto que ingresa el propietario, el arquitecto, el contratista general y cualquier otra parte que pueda tener un rol principal en el proyecto. El objetivo principal de IPD es maximizar la colaboración y la coordinación para todo el proyecto, y estos contratos son el vehículo que permite que estos objetivos se alcancen con éxito sin que se compliquen por contratos separados que crean motivos opuestos (Sarkar y Mangrola, 2016).

Sarkar y Mangrola (2016) también argumentan que a diferencia de los proyectos tradicionales donde cada parte generalmente toma medidas cuidadosas para minimizar su propio riesgo, los contratos de IPD combinan los riesgos y las recompensas de todos los miembros del equipo e incentivan la colaboración para alcanzar los objetivos comunes del proyecto. Estos objetivos pueden variar, pero generalmente están asociados con el costo, el cronograma y las métricas de calidad comúnmente utilizadas para medir el éxito del proyecto.

**Building Information Modeling (BIM):** se define como un conjunto de políticas, tecnologías y procesos interrelacionados que constituyen una aproximación a la información digital del proyecto y gestión de datos durante el ciclo de vida de un edificio, proporciona métodos de predicción, gestión y monitoreo del impacto ambiental de la construcción y desarrollo del proyecto a través de un prototipo virtual tecnológico. Aunque es posible trabajar de forma integrada sin modelado paramétrico, BIM facilita el análisis de confort urbano y medioambiental, la extracción de medidas cuantitativas y la armonización de diseños (figura 2.17) (Vieira, Calmon y Cortes, 2017).

Gracias a las nuevas tecnologías, *BIM* soporta la entrega de proyectos de una manera más colaborativa e integradora. Los equipos que trabajan de esta manera utilizan los modelos de información de edificios de manera colaborativa y computable para lograr una mejor toma de decisiones (Pons Achell, 2014).



**Figura 2.16.** Elementos BIM (Pons Achell, 2014).

Según Pons (2014) las diferencias de trabajar bajo un sistema tradicional y uno bajo el régimen de la filosofía Lean se resume a la siguiente tabla:

PROYECTO TRADICIONAL	PROYECTO LEAN
Sistema operativo	
Gestión del camino crítico	<i>Last Planner System</i>
Sistema <i>Push</i>	Sistema <i>Pull</i>
Basado en la transformación de procesos e información	Basado en la transformación, flujo de valor y generación de valor
Las actividades se llevan a cabo tan pronto como sea posible	Las actividades se llevan a cabo en el último momento responsable
Los búferes están dimensionados y localizados para la optimización local	Los búferes están dimensionados y localizados para realizar la función de absorber la variabilidad del sistema
Focalizado en las transacciones y contratos	Focalizado en el sistema de producción

**Tabla 3.** Diferencias entre un enfoque tradicional y uno Lean (Pons Achell, 2014).

### **2.3.4. ¿Es coherente pensar en la construcción bajo la filosofía Lean?**

En la actualidad la industria de la construcción se enfrenta a muchos problemas, los cuales se han ido mencionando un sinnúmero de veces en apartados anteriores, tales como: defectos en el producto final, aumento de costos reales versus costos planificados, aumento del plazo de entrega del producto al cliente etc. Este tipo de problemas son los mismos a los que se enfrentaba Toyota cuando Ohno creó la teoría de producción esbelta para Toyota, por eso no es descabellado pensar que tal teoría puede servir (con pequeñas modificaciones) en la industria de la construcción (Alarcón y Diethelm, 2002).

Además, la teoría de producción esbelta se basa en la mejora continua, y de esta forma aumentar el valor del producto final y reducir los desperdicios. Como resultado se obtiene un producto final de mayor calidad con un costo asociado menor, y esto evidentemente a cualquier industria le interesa. La implementación de la filosofía Lean en una nueva industria provocará y necesitará cambios en todos los niveles, ya que no sólo se ha de cambiar la manera de trabajar, sino que también se ha de cambiar la forma de pensar (Espuny y Schneider, 2009).

### **2.3.5. Casos de estudio**

En este apartado se presentarán estudios realizados en el sector constructivo con el fin de conocer el panorama cronológico en el avance metodológico utilizado en la construcción. Como primer estudio se encuentra el expuesto por Saad, Christine y Andrew (2017 citado en Egan; 1998, p.15) donde despliegan claramente un mensaje a la industria de la construcción, subrayando que: *"Estudios recientes en los Estados Unidos, Escandinavia y otros países sugieren que hasta el 30% de construcción es la rectificación, la mano de obra es utilizada en sólo 40-60 por ciento del potencial de eficiencia, los accidentes pueden representar el 3-6% de los costos totales del proyecto, y al menos el 10% de los materiales se desperdician...El mensaje es claro: hay*

*mucho margen para mejorar la eficiencia y la calidad simplemente tomando los residuos de construcción"*

De acuerdo a la definición que tiene la construcción a ojos de todos, se han realizado diversos estudios con el fin de borrar la imagen que se expuso en el párrafo anterior, como es el caso de un estudio realizado por Thomassen *et al.* (2003) en una importante empresa constructora de Dinamarca, este estudio afirma que la empresa tenía años trabajando con seriedad la aplicación lean en la construcción. Se utilizaron métodos lean en más de 30 proyectos terminados o en curso de construcción. La investigación incluye tanto la aplicación como los resultados obtenidos, la aplicación consta de conocidos métodos lean como "last planner" y "mirar hacia el futuro", el documento examina a nivel proyecto el cómo las aplicaciones de métodos lean afecta a puntos de referencia como la rentabilidad, seguridad, satisfacción del cliente y los costos administrativos. Estos datos preliminares sugieren que todas las partes pueden beneficiarse del uso de LC.

En estudios más recientes se encuentra el realizado en Noruega por Andersen *et al.* (2012) en el cual se investigaron las prácticas de construcción lean en un hospital, iniciando su implementación en la fase 2 de un proyecto en curso, se identificaron principalmente tres buenas prácticas: un conjunto de "ingeniería esbelta" y los enfoques de asociación, logística y métodos de compra, y las adaptaciones de un proceso de LC. Los resultados globales del estudio empírico justifican resultados positivos en varios atributos y dimensiones, manteniendo el tiempo de construcción en la fase 2 a la par de la fase 1 a pesar del aumento de la complejidad, se obtuvo un 3.4% de reducción de costos por M<sup>2</sup> y una mejora de la calidad de construcción que se reflejó en un 55.1% de reducción en los costos de garantías por M<sup>2</sup>, entre otros.

Por otro lado, una investigación realizada por Garrett (2011) analizó el proceso de un proyecto típico de construcción, en él se utilizaron herramientas de construcción esbelta como el mapeo de cadena de valor (VSM) y varios otros conceptos. A través de la aplicación de conceptos LC, con el estudio se pudo concluir que se obtienen ahorros

medibles en los tiempos de proceso y de ejecución al reducir o eliminar actividades sin valor. Se obtuvieron mejoras mensurables en la cantidad de tiempo de ejecución, tiempo de proceso y número de actividades. El número de actividades en el proceso se redujo de ocho a cinco, obteniéndose una reducción del tiempo de entrega de alrededor del 40%, así como una reducción del 25% en el tiempo de procesos.

### 3. METODOLOGÍA

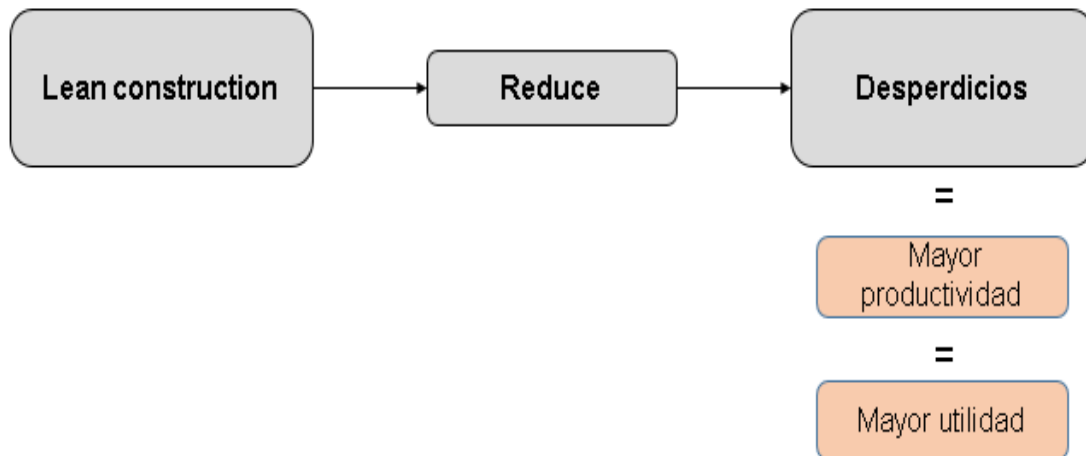
De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014) el presente proyecto da inicio bajo un alcance tipo exploratorio debido a que se entrará a un tema poco estudiado abordándolo desde una perspectiva innovadora y dejando espacio suficiente para el estudio de nuevos casos. Bajo este enfoque se indagó profundamente en los temas de interés, mismos que se expusieron en el capítulo anterior. Además, se dio búsqueda en casos similares al presente estudio con la finalidad de fundamentar y recolectar técnicas y métodos contribuyentes.

Como lo explican estos mismos autores, una investigación no se delimita a un solo tipo de alcance; por lo tanto, un estudio exploratorio sólo será la base de la investigación para continuar con un método descriptivo en el cual se abordará la temática general de la empresa, dejando estipuladas las características y las tendencias constantes del sector constructivo. Posteriormente esta investigación tomará un carácter explicativo, en donde una vez aplicada la propuesta metodológica de este apartado, se darán a conocer los resultados obtenidos de la investigación.

Una vez que se precisó el alcance de la investigación se debe visualizar la manera práctica y concreta de contestar las preguntas de investigación, además de cumplir con los objetivos fijados. Esto implica seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto particular del estudio.

Dicho diseño bajo las características de la investigación y según Hernández, Fernández y Baptista (2014) se trata de una investigación experimental, el fundamento teórico de estos diseños es la intervención; es decir, el investigador genera una situación para tratar de explicar cómo afecta a quienes participan en ella, en comparación con quienes no lo hacen.

Los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula. Para la investigación en curso se obtiene el siguiente panorama:

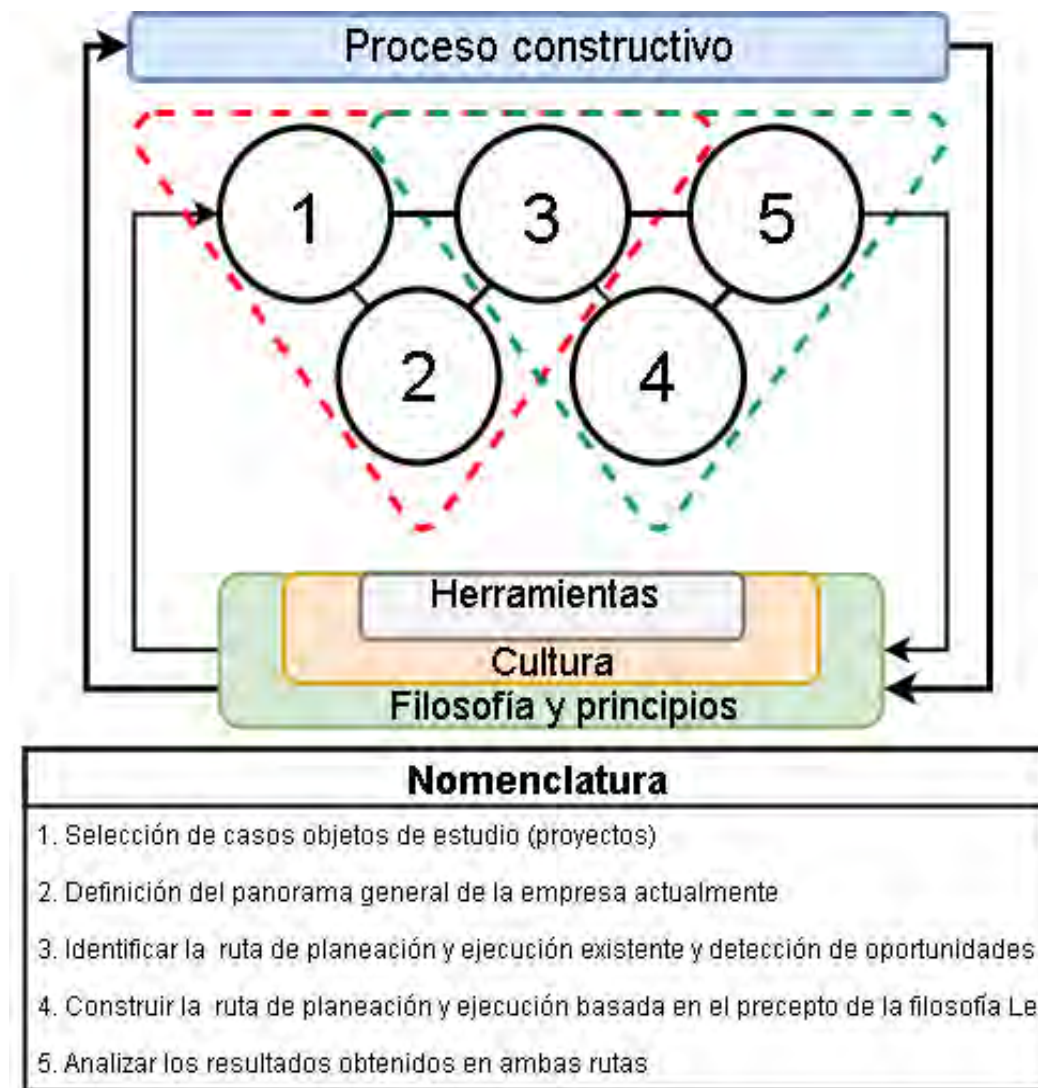


*Figura 3.1. Experimento de investigación, creación propia a partir de Hernández, Fernández y Baptista, 2014.*

### 3.1. Estructura metodológica

Se utilizará una metodología que permita analizar desde la perspectiva de manufactura, los elementos que componen la práctica de construcción. Se trata de una estrategia que permita aplicar filosofía esbelta a proyectos de construcción, teniendo en cuenta el modelo de planeación y ejecución tradicional.

Los pasos a seguir para el desarrollo de la investigación fueron adaptados a partir de dos investigaciones encontradas en la búsqueda previa de información sobre el tema. Por un lado se encuentra Cano et al., (2015) con su trabajo titulado “Entornos y sistemas de producción en construcción - relación con la evolución de la aplicación de lean construction en Colombia” y por el otro Martínez (2011) con la investigación que lleva por nombre “Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean (Construcción Esbelta) en proyectos de construcción”. Ambas propuestas se combinaron y se planteó la metodología presentada en esta investigación (figura 3.2.), considerada como pertinente para el estudio y capaz de cumplir con la hipótesis mencionada al principio de este documento.



*Figura 3.2. Metodología propuesta a partir de Cano et al., (2015) y Martínez, (2011).*

### 3.1.1. Selección de casos objeto de estudio

Esta investigación posiblemente servirá de base para investigaciones futuras, por lo tanto, es indispensable establecer este paso en la metodología para que los investigadores tomen en cuenta la delimitación o magnitud de la investigación que se llevará a cabo.

Primeramente, se debe delimitar el sector que se quiere estudiar, en este caso se trata de construcción orientada a casas residenciales y de interés social, a partir de este



apartado toda la información y lo referente a construcción tendrá el enfoque constructivo de casas habitación.

Para este caso en particular se debe tomar en cuenta varios aspectos para la selección de objetivos de estudio:

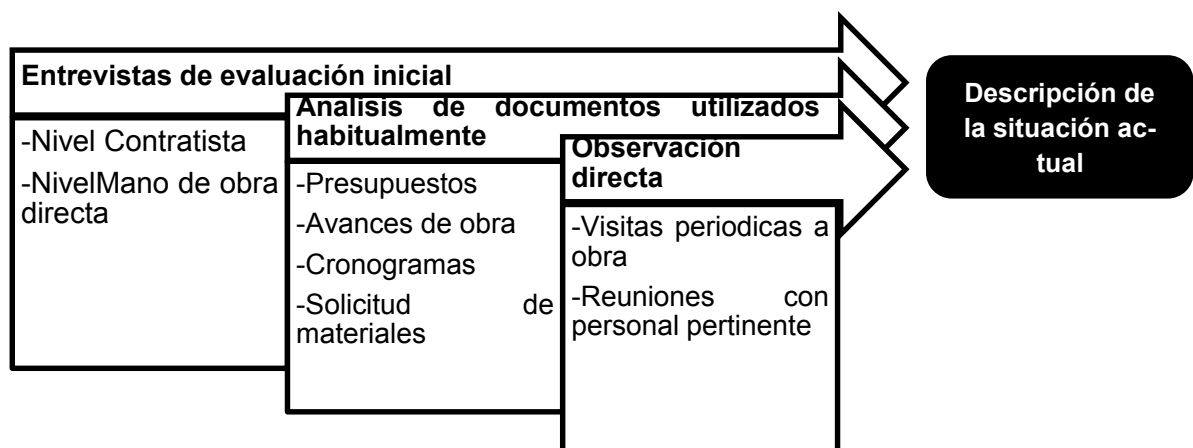
2. Número de proyectos (colonias) que tiene en proceso la empresa
3. Tiempo disponible para la investigación
4. Capacidad de análisis del investigador

Con base en estos parámetros se puede seleccionar la magnitud del estudio y los objetivos específicos que se van a estudiar.

### 3.1.2. Definición del panorama general de la empresa actualmente

El objetivo de este paso es conocer el contexto actual de la empresa y el panorama general del sector estudiado. Para esto es necesario primeramente una observación directa en el área de interés seleccionada, el levantamiento de datos, técnicas y métodos de trabajo para posteriormente ser analizados y poder hacer propuestas en el paso 4.

Los componentes de esta sección se definen a continuación:

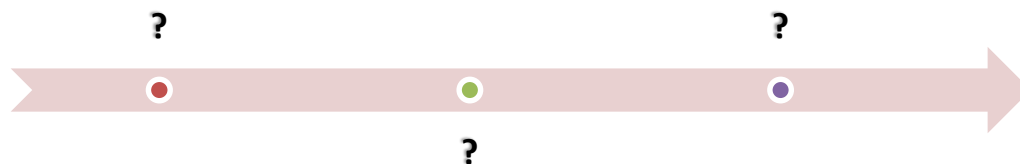


*Figura 3.3. Componentes del análisis inicial.*

Con esta información se procede a definir de forma concisa el panorama general de la empresa, definiendo principalmente su forma de trabajo, el proceso general de obtención de ingresos y las fallas generales del sistema.

### 3.1.3. Identificar la ruta de planeación y ejecución existente y detección de oportunidades

Identificar la ruta de planeación y ejecución realizada en el caso de estudio (Secuencia lógica de actividades realizadas, cuando se planea y se ejecutan los proyectos, técnicas utilizadas etc.). Esta ruta servirá como base para la situación actual, es una serie de pasos que usualmente siguen las personas que planean y ejecutan los proyectos de construcción con el fin de obtener los resultados esperados pero que a fin de cuenta no son eficientes en sus procesos.

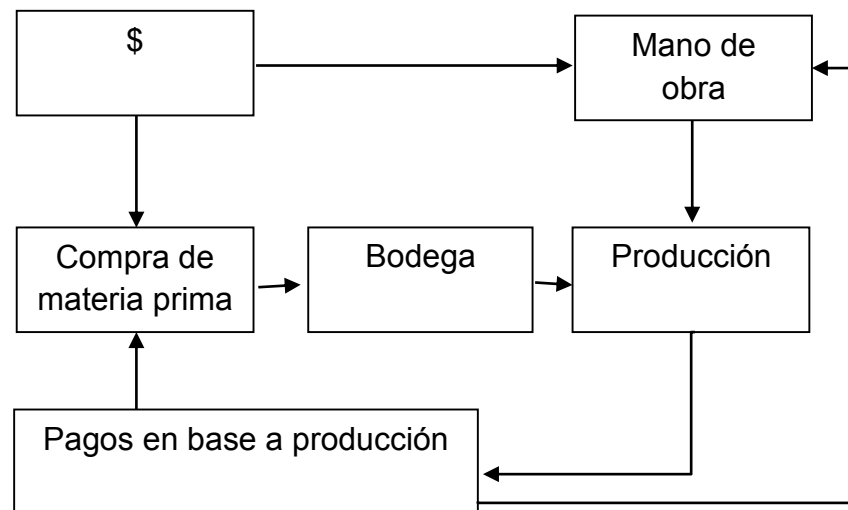


*Figura 3.4. Propuesta: identificar la ruta de planeación y ejecución del caso de estudio.*

Dicha ruta (figura 3.4.) será modificada y alterada con la introducción de Lean Construction (paso 4), si la hipótesis de la investigación resulta verdadera los resultados obtenidos en el paso 5 serán favorables.

Para identificar este proceso de ejecución lo primero que se debe hacer es un diagrama de proceso de la situación actual basado en los actores básicos dentro de la construcción, definidos como:

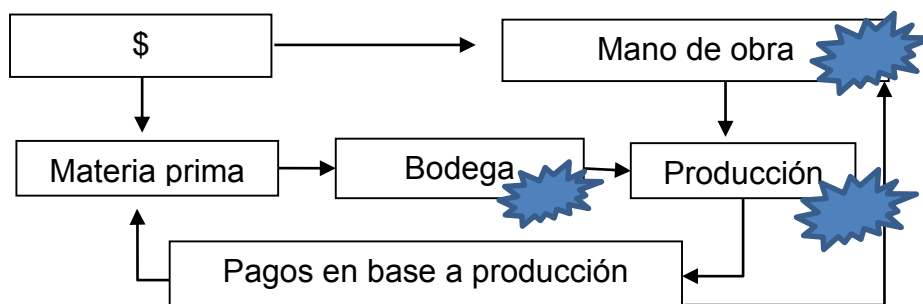
- Compra de materia prima
- Bodega
- Mano de obra
- Producción y remuneración de la misma



**Figura 3.5.** Diagrama de proceso base.

El diagrama de proceso presentado no tiene definidas sus etapas, ni las mencionadas son absolutas, cada uno dependerá de la empresa en la que se aplique definiendo el anterior como un proceso básico que todas las empresas de construcción de casas deben tener, sin embargo, se puede quitar y agregar procesos de acuerdo a la situación.

Una vez establecido el diagrama de proceso se procede a describir cada uno de sus rubros, detallando principalmente la forma de trabajo para posteriormente detectar fallas en el sistema actual. Estas ayudaran a la identificación de mejoras en los puntos clave (figura 3.6).



**Figura 3.6.** Ejemplo de mejoras en diagrama de proceso, identificación de puntos clave.

Para la identificación de puntos clave o procesos susceptibles a mejoras se obtiene la siguiente tabla de soporte (tabla 4), con base en los métodos que se observan en dicha tabla se evalúa cada uno de los actores que se identifican en el diagrama de proceso (figura 3.5):



**Tabla 4.** Métodos para la identificación de mejoras (Miralles, 2011).

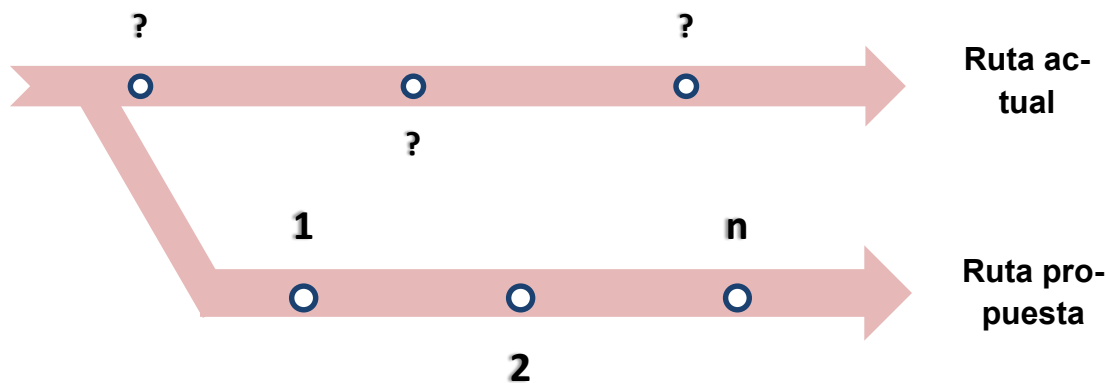
Ya identificados los puntos débiles del sistema después de analizar el proceso global se procede al siguiente paso que consiste en la construcción de una nueva ruta.

### **3.1.4 Construir la nueva ruta de planeación y ejecución basada en los preceptos de la filosofía Lean**

Basado en el análisis del caso de estudio descrito en el paso anterior, se observarán muchos de los problemas que causan la improductividad constructiva, la indagación literaria realizada al principio indica que el núcleo de este problema proviene de una mala planeación previa a la ejecución, ejemplo de ello se espera se evidencie en dicho paso.

Con base en lo que se observe y lo que se recolectó en la teoría, se planteará una nueva ruta de planeación y ejecución basada en la filosofía Lean Construction; La ruta

diseñada se adaptara principalmente a proyectos dedicados a la construcción de casas habitación, esperando sirva como guía bajo cualquier circunstancia para estos casos en particular. De forma sencilla y concreta lo que contempla este paso se muestra de forma gráfica en la figura 3.7.

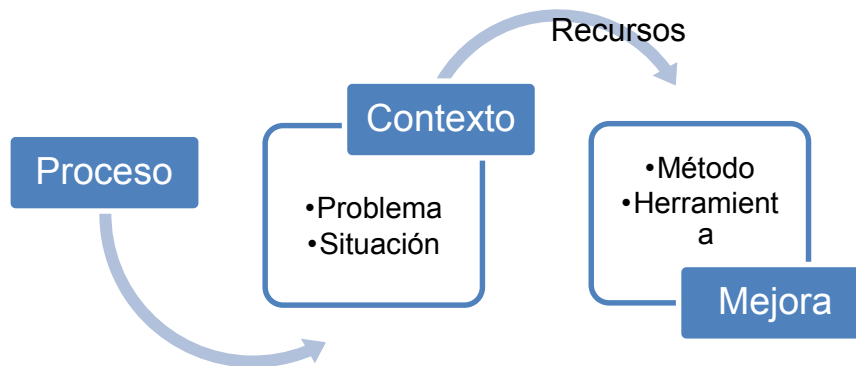


**Figura 3.7.** Cambio de ruta con adaptaciones basadas en Lean Construction.

Cada paso establecido en la nueva ruta (de 1 hasta n) debe estar perfectamente establecido y estar bajo los enfoques de la filosofía Lean Construction, guiada con el objetivo principal de minimizar desperdicios y aumentar la productividad constructiva.

Se utilizarán las herramientas que actualmente en las implementaciones dirigidas a Lean Construction son consideradas como parte de dicha filosofía, pero además se adaptarán algunas técnicas de manufactura esbelta con ligeras modificaciones para este sector, así como también se aplicará lo necesario para cumplir con el precepto principal de la filosofía Lean que es la disminución de desperdicios, aunque tal herramienta no este etiquetada oficialmente como parte de la filosofía.

Los pasos a seguir para la selección de herramientas o métodos dependen del contexto general del problema, el lugar donde serán aplicadas y los recursos disponibles de cada empresa (figura 3.8).



**Figura 3.8.** Proceso para la selección de herramientas.

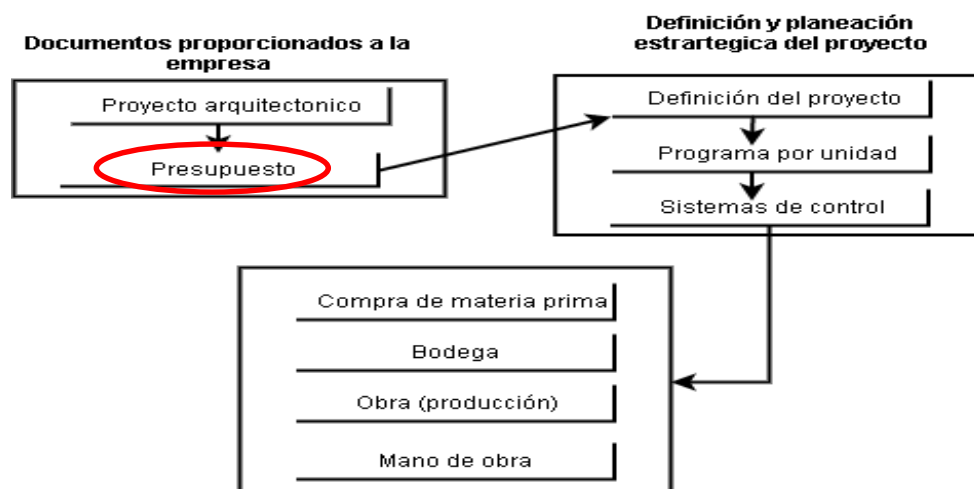
El proceso descrito a continuación contempla las etapas principales descritas en la figura 3.6, proceso que se estableció como base para las empresas afines a la estudiada. Este sistema de ejecución implica principalmente la gestión correcta de los recursos y la disminución de desperdicios.

- **Presupuesto**

Al iniciar un proyecto el contratante debe entregar dos documentos fundamentales:

- proyecto arquitectónico y presupuesto

Con base en estos documentos se debe obtener el panorama general del proyecto, desde el tiempo en que será ejecutado hasta los recursos que serán utilizados, en la siguiente figura se muestra todo lo que se debe obtener en base al presupuesto:



**Figura 3.9.** Resultantes del documento principal (presupuesto).

## Definición del proyecto

Este paso tiene como finalidad establecer el rango de tiempo en el que el proyecto debe ser concluido, tomando en cuenta la retribución del mismo. A continuación, se plasman las tablas que deben ser llenadas, la información que demandan es la que se utilizará para la obtención del resultado (tiempo de ejecución del proyecto).

# de Casas	Prototipo	Monto del contrato (CON)
#	M <sup>2</sup>	\$
#	M <sup>2</sup>	\$
#	M <sup>2</sup>	\$
#	M <sup>2</sup>	\$

*Tabla 5. Información básica del proyecto.*

Proto-tipo	Precio de venta (PV) (presupuesto)	Costo de producción estimado (CP)	Margen de contribución por lote (MCL)	Número de casas (NC)	Margen de contribución (MC)
M <sup>2</sup>	\$	\$	PV-CP	#	MCL*NC
M <sup>2</sup>	\$	\$	PV-CP	#	MCL*NC
				TOTAL	ΣMC

*Tabla 6. Margen de contribución esperada del proyecto.*

% Indirecto	MC estimado	Indirecto a usar (IU)	Utilidad final
5	ΣMC	CON*%INDIRECTO	ΣMC-IU
10	ΣMC	CON*%INDIRECTO	ΣMC-IU
15	ΣMC	CON*%INDIRECTO	ΣMC-IU
20	ΣMC	CON*%INDIRECTO	ΣMC-IU

*Tabla 7. Escenarios en base a mano de obra indirecta a utilizar.*

Puesto	Sueldo promedio (SP)
Administrador	\$
Supervisor	\$
Almacenista	\$
Velador	\$
<b>TOTAL</b>	<b><math>\sum SP</math></b>

**Tabla 8.** Mano de obra indirecta por proyecto (ejemplos).

Con base en la información que se obtenga en las tablas anteriores se puede calcular el total de semanas a trabajar por porcentaje de indirecto con la siguiente fórmula:

$$N^{\circ} \text{ de semanas} = \frac{IU_i}{\sum SP}$$

Que camino elegir depende del equipo de trabajo, analizando la utilidad de cada uno de los escenarios y la posibilidad de ejecución acorde a los tiempos calculados.

### Programa por unidad

El programa por unidad consiste en hacer una planeación de la ejecución de cada uno de los productos acorde a las semanas calculadas y establecidas como mejor opción para el proyecto en curso. El primer paso radica en establecer las actividades para la elaboración de una casa y los tiempos de cada una de ellas:

Código	Descripción	Tiempo
A	Cimentación	#
B	...	#
C	...	#
D	...	#
E	...	#
F	Azotea	#

**Tabla 9.** Definición de actividades y tiempos.

Una vez establecidos esos parámetros, lo siguiente es la realización de un programa de trabajo acomodándolo al tiempo que se estableció en el paso anterior, si bien los tiempos de cada actividad están calculados, pero aquí es donde cada encargado del



proyecto podrá calcular la mano de obra necesaria para la ejecución correcta y oportuna del proyecto.

SEMANA	1	2	3	.	.	.	.	#S
Casa #								
1								
2								
3								
.								
.								
.								
.								
n								

Tabla 10. Hacer plan de trabajo acorde a semanas calculadas.

### Programas de control

Este paso se ejecuta de igual forma antes de iniciar el proyecto, con el fin de establecer antes de que todo se ponga en marcha las herramientas que serán utilizadas para el control y coordinación de los recursos.

Es de suma importancia contar con estos controles ya que gracias a ellos se podrán hacer comparaciones de los parámetros que se establecieron en la definición del proyecto contra lo real ejecutado, por ejemplo, el costo de producción estimado vs el costo de producción real, entre otros. Para ello se contemplan 4 pilares bases, con su interacción se espera la coordinación y control de los recursos de manera efectiva, estos cuatro pilares son:

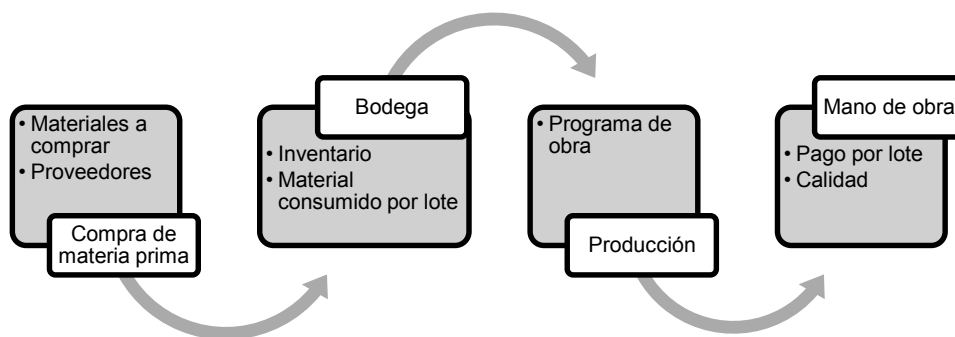
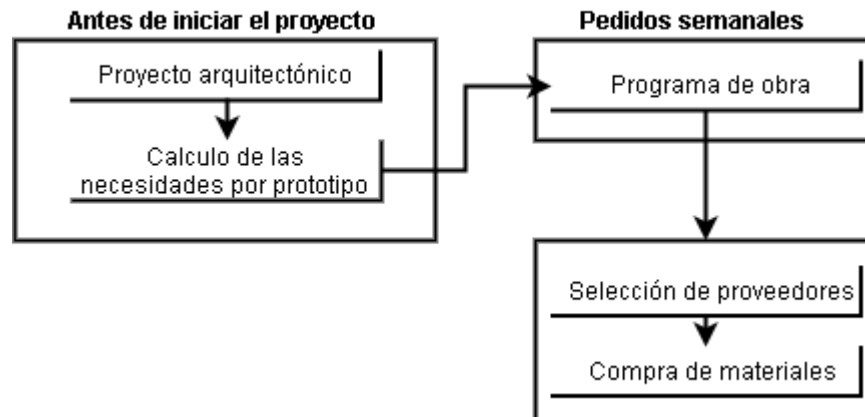


Figura 3.10. Actores clave para controlar y coordinar.

Los controles de cada uno de ellos serán especificados en sus respectivas secciones, la finalidad de los mismos es la planeación y coordinación adecuada del proceso constructivo.

- **Compra de materia prima**

La compra de materia prima se considera uno de los puntos más susceptibles a mejora, para el correcto funcionamiento de este actor se desarrolló el siguiente diagrama de flujo, su seguimiento pretende obtener las bases para la correcta gestión de los recursos:



*Figura 3.11. Proceso para la compra de materiales.*

### **Proyecto arquitectónico**

Al iniciar un proyecto se cuentan con los planos arquitectónicos de los modelos a producir, de este documento se puede estimar de forma muy acertada la cantidad de material que requerirá cada lote. La extracción de esta información de forma oportuna ya depende de cada empresa.

Muchas veces por la desesperación de arrancar un proyecto y producir, las empresas olvidan considerar la gestión de recursos fundamentales y eso hace imposible cuantificar los insumos posteriormente.

### **Cálculo de las necesidades por prototipo**

Uno de los principales problemas en este sector es que los materiales que se utilizan son muy variantes, la cantidad de los mismos oscila entre 300 y 500 tipos diferentes. Es complicado poder controlar cada uno de ellos y a su vez en diferentes proporciones.

Con el paso anterior se hace una clasificación y consolidación de paquetes para pasar de los pedidos de pieza por pieza a grupos consolidados. Cada uno de esos grupos se forma según la fase de construcción por ejecutar (cimentación, muros, azotea, etc.) y la tarea a realizar dentro de esa fase (plomería, electricidad, estructuras de acero, etc.). El nuevo sistema de requerimientos se maneja por medio de paquetes, es decir, no se aceptan pedidos por pieza, el pedido se realizará a partir de 3 distintivos: Prototipo (modelo de la casa), proceso y tarea dentro del proceso (figura 3.12).

PROTOTIPO	ID	PROCESO	TAREA	PRODUCTO	CANTIDAD	UNIDADES
A	A-CP01	CIMENTACION	PLOMERIA	PRODUCTO 1		
				PRODUCTO 2		
				PRODUCTO N		
	A-CE01	CIMENTACION	ELECTRICO	PRODUCTO 1		
				PRODUCTO 2		
				PRODUCTO N		
	A-C...	CIMENTACION	....	PRODUCTO 1		
				PRODUCTO 2		
				PRODUCTO N		
	A-MP01	MUROS	PLOMERIA	PRODUCTO 1		
				PRODUCTO 2		
				PRODUCTO N		
A-M...	MUROS	...	PRODUCTO 1			
			PRODUCTO 2			
			PRODUCTO N			
...	AZOTEA	PLOMERIA	PRODUCTO 1			
			PRODUCTO 2			
			PRODUCTO N			
...	AZOTEA	ELECTRICO	PRODUCTO 1			
			PRODUCTO 2			
			PRODUCTO N			
B	...	...	...	...	...	...

El ID se usara para el pedido de materiales, incluye lo necesario para llevar a cabo esa parte del proceso y elimina el desgaste de pedir pieza por pieza.

Figura 3.12. Sistema de pedidos.

La implementación de este nuevo método de paquetes predefinidos, inclina a un mejor control y ayuda a simplificar la lista de materiales a pedir, usando un solo ID para varios productos en lugar de escribirlos uno a uno, así el trabajador solicita el paquete que va

a necesitar según la tarea, proceso y prototipo en que se encuentre trabajando, evitando el pensar qué le hace falta, cómo se llama el material, las cantidades de los mismos, etc.

### Programa de obra

En base al plan de obra establecido anteriormente, se coordinan los materiales que se requieren en producción. A continuación, se observa de forma general la idea de este paso:

Programación de paquetes de materiales

SEMANA	1	2	3	.	.	.	n
NUM. <input type="text"/>							
1	ID	ID					
2	ID	ID	ID	ID			
3		ID	ID	ID	ID	ID	
.			ID	ID	ID	ID	
.			ID	ID	ID	ID	ID
.					ID	ID	ID
n					ID	ID	ID

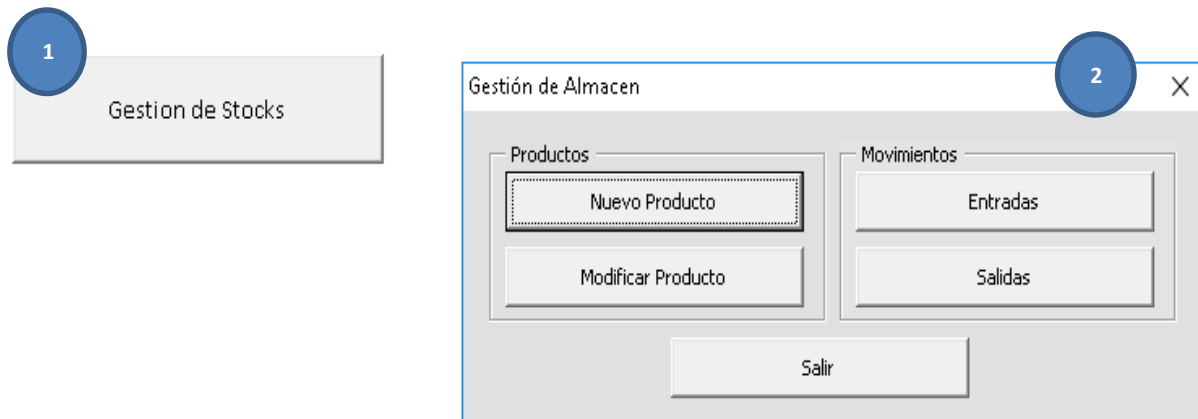
*Figura 3.13. Programación de materiales en base a plan de obra.*

Con esta información se procede a la selección de proveedores y la compra de materia prima, la selección de dónde comprarlos radica del análisis previo de la empresa (recorridos y precios).

- **Bodega**

Con base en el sistema de paquetes que se diseñó en el proceso anterior, se debe adecuar un programa de inventarios, donde exista una gestión tanto de entradas y salidas como del consumo de material por lote habitacional, que con este sistema se pueda hacer un comparativo del presupuesto y el consumo real y ver si en realidad los insumos por lote son los adecuados. En la figura 3.14 se muestra un ejemplo de un programa para los fines establecidos, el botón número 1 hace que se abra la pestaña

enumerada como número dos. El usuario de este programa (encargado de la bodega) tendrá acceso solo a estos cuadros, mientras que el administrador o el interesado en los resultados del almacén tendrán acceso a bases de datos generadas por los campos a llenar por el almacenista.



**Figura 3.14.** Caratula general del sistema.

Al iniciar un proyecto con la ayuda del personal que se considere pertinente y el presupuesto se hará una lista de materiales y paquetes (generados en el paso anterior) los cuales serán registrados al momento de su entrada como de su salida. Al dar entrada a un producto se verá una plantilla como la siguiente:

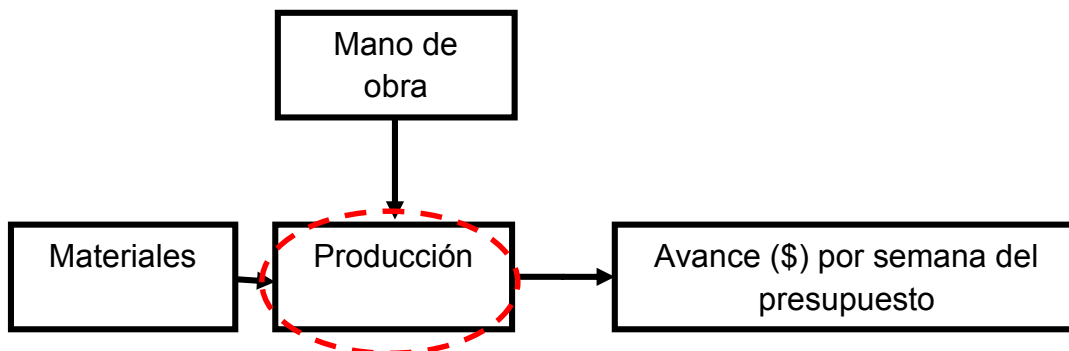
**Figura 3.15.** Entrada de material.

Así mismo el programa debe considerar una parte fundamental: las salidas de materia prima y su destino, la información básica a requerir debe ser la siguiente:

**Figura 3.16.** Salida de material.

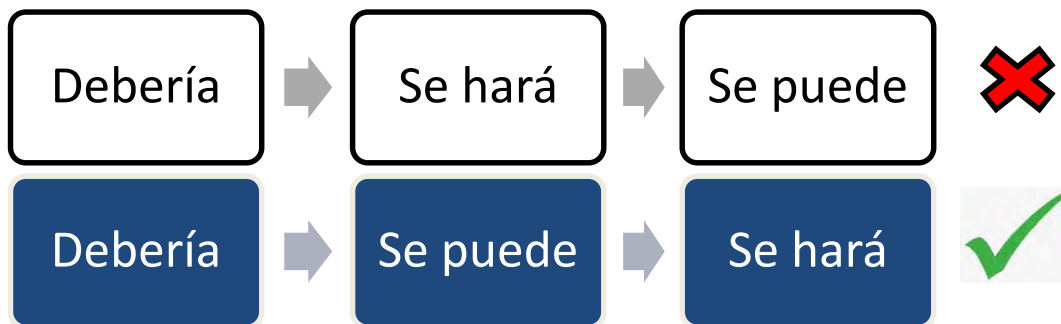
Con esta información capturada por la persona encargada se generará una base de datos de la cual se podrán obtener datos en tiempo real y comparaciones del presupuesto con cada uno de los lotes producidos. Cuantificando el material de más por casa o incluso el material que le falta a cada una de ellas, proporcionando información valiosa para la compra de materiales y generar indicadores del desperdicio de los mismos.

## Producción



**Figura 3.17.** Funcionamiento del área de producción.

El área de producción en estas empresas sólo tiene dos entradas, materiales y mano de obra, por lo general el avance de obra es en base a lo que se tiene disponible, no cuenta con empleados bajo contrato como una empresa habitual ni materiales con números de partes fáciles de identificar, el sistema planteado se basa en la herramienta last planner, misma que pertenece a la filosofía lean que sugiere hacer el cambio de pensamiento como se muestra a continuación:



**Figura 3.18.** Cambio de sistema en área de producción.

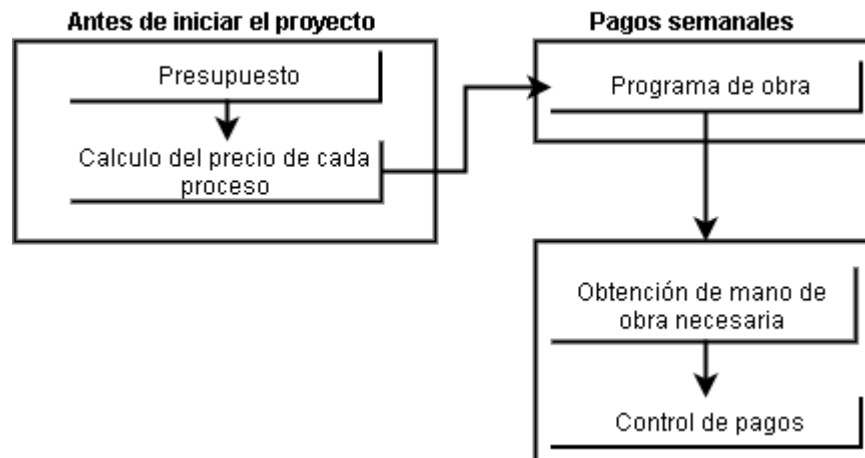
Lo anterior es solo la esencia del nuevo método, para cumplir con esto se utilizará el programa de trabajo desarrollado en el primer paso (presupuesto), este documento (figura 3.19) con el análisis realizado en pasos anteriores sitúa a la empresa directamente en el “se puede” y depende de la capacidad de gestión de recursos del interesado en cumplir el “se hará”, planeando tanto los materiales como la mano de obra para las actividades programadas en la semana en proceso.

SEMANA	1	2	3	.	.	.	.	#S
Casa #								
1								
2								
3								
.								
.								
.								
n								

**Figura 3.19.** Plan de trabajo.

## Mano de obra

La mano de obra se registrará bajo el siguiente proceso:



**Figura 3.20.** Proceso para el control de mano de obra.

En base al presupuesto, se debe calcular el precio estándar de cada lote producido en cuanto a mano de obra, para esto se debe desglosar de forma concisa todos los trabajos a ejecutar para la construcción de una casa. Esta tarea requiere de trabajo por parte del encargado del proyecto y los interesados, es importante tomarse el tiempo y establecer parámetros medibles en la empresa.

La figura 3.21 muestra las etapas básicas en la construcción de una vivienda, depende de cada empresa y cada proyecto establecer las actividades y los pagos correspondientes. El paso en sí, aparte de establecer parámetros monetarios, consisten en gestionar y respetar el precio total establecido, mismo que es considerado favorable de acuerdo al análisis previo del presupuesto. El control o gestión de pagos se hace en el mismo archivo generado, en la figura de igual forma se observa cómo se pueden ir eliminando de forma práctica los conceptos que son ejecutados y remunerados, esto hace más fácil y rápido saber la situación monetaria en cuanto a lo que se pagó y no se pagó, dejando por fuera los métodos manuales en papel y el error humano.



		LOTES	1	2	.	.	N
<b>CIMENTACION</b>		\$					
C001	1	\$	✗	✗			
C002	2	\$		✗			
C003	.	\$	✗				
C004	.	\$					
C005	n	\$					
<b>MUROS</b>		\$					
M001	1	\$					
M002	2	\$					
M003	.	\$					
M004	n	\$					
<b>AZOTEA</b>		\$					
AZ001	1	\$					
AZ002	2	\$					
AZ003	.	\$					
AZ004	.	\$					
AZ008	n	\$					
<b>ALBAÑILERIA</b>		\$					
AL001	1	\$					
AL002	2	\$					
AL003	.	\$					
AL004	.	\$					
AL005	n	\$					
<b>ACABADOS</b>		\$					
AC001	1	\$					
AC003	2	\$					
AC004	.	\$					
AC005	.	\$					
AC006	.	\$					
AC007	n	\$					
<b>Precio estandarizado</b>		∑\$					

Figura 3.21. Gestión de mano de obra.

La mano de obra de igual forma será programada de acuerdo al plan de trabajo establecido con anterioridad (figura 3.22), la finalidad es trabajar en lo que se tiene que hacer y no sólo con lo que se tenga disponible, es responsabilidad del encargado de obra conseguir ese personal y coordinarlo para la obtención de resultados.






SEMANA	1	2	3	.	.	.	.	#S
Casa #								
1								
2								
3								
.								
.								
.								
n								

Figura 3.22. Planeación de mano de obra requerida.

### Avance semanal

Por lo general las empresas que contratan generan el avance semanal de sus contratistas, este nuevo sistema se basa en la herramienta Integrated Project Delivery la cual consiste en unir fuerzas, hacer equipo multidisciplinarios y obtener beneficios para todos. Con el programa de obra definido al inicio del proyecto se puede calcular de forma tentativa el ingreso semanal de la empresa.

Para este propósito se hará uso del documento básico de todo proyecto: el presupuesto, con algunas modificaciones al archivo se puede usar para hacer proyecciones internas y al final de la semana usarlo como reporte externo.

Tarea	Unidades	QTY	P. U	TOTAL	Lotes				
					1	2	.	.	n
1	M2	#	\$	\$	✖	✖	✖		
2	ML	#	\$	\$	✖				
3	ML	#	\$	\$					
.	M3	#	\$	\$					
.	M3	#	\$	\$					
.	M2	#	\$	\$					
.	ML	#	\$	\$					
.	Kg	#	\$	\$					
.	Kg	#	\$	\$					
.	Kg	#	\$	\$					
.	Kg	#	\$	\$					
.	Kg	#	\$	\$					
n	M2	#	\$	\$					

**Figura 3.23.** Presupuesto con modificaciones para control de pagos por lote.

### 3.1.5 Analizar los resultados obtenidos

Se analizarán los resultados obtenidos en el caso de estudio inicial (paso 3) y de acuerdo a esto se realizaron las correcciones necesarias a la ruta de planeación y ejecución (paso 4). Para llevar a cabo un análisis de comparación se tomará un segundo caso, este será un proyecto de construcción perteneciente a la misma empresa al cual se le aplicará la ruta propuesta de planeación y ejecución y así poder comparar los resultados.

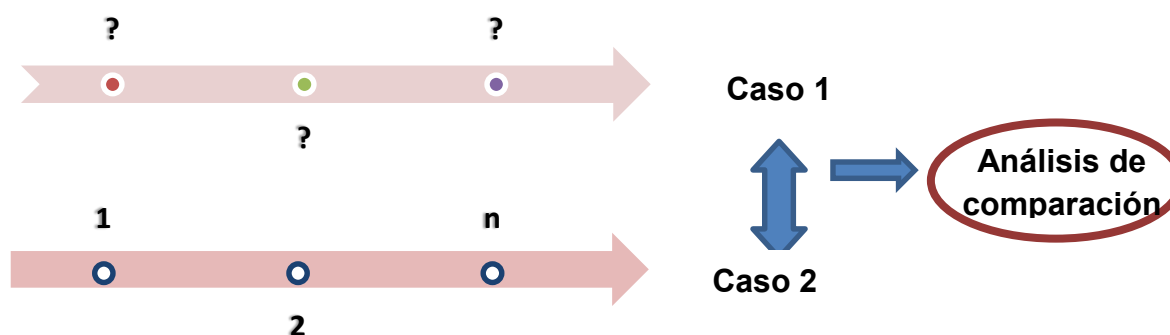


Figura 3.24. Análisis de comparación entre casos.

Los parámetros que se pueden medir al aplicar la metodología dependen de los procesos en los que se centre el estudio aplicado, sin embargo, algunos parámetros generales a evaluar se enlistan en la siguiente tabla:

Proceso	Indicadores
<b>Compra de materia prima</b>	Porcentaje de reducción de proveedores
	Porcentaje de reducción de gasolina
	Porcentaje de material extra
	Porcentaje de material faltante
	Porcentaje de material al final del proyecto
<b>Bodega</b>	Porcentaje de disponibilidad
	Porcentaje de no disponibilidad
	Porcentaje de concordancia con plan de producción
<b>Producción</b>	Tiempo de ejecución por proyecto
	Porcentaje de concordancia con el plan de trabajo
	Porcentaje de disminución de tiempos
	Porcentaje de disminución de defectos/re trabajos
<b>Mano de obra</b>	Mano de obra estándar por tipo de producto
	Porcentaje de disponibilidad en base planeación
	Porcentaje de no disponibilidad de base a producción

Tabla 11. Indicadores posibles a evaluar.

## 4. IMPLEMENTACIÓN

En el presente capítulo se explica cómo es que la metodología expuesta anteriormente fue aplicada en la empresa en estudio, dedicada al sector constructivo en el noroeste de México. A continuación, se detallan las actividades que se desarrollaron, en cada una de las etapas:

### 4.1. Selección de objetos de estudio

En este estudio en particular, el enfoque de los objetivos incluye todo lo que tiene que ver con el proceso constructivo, es decir, desde la obtención de recursos para su elaboración hasta el lugar físico donde se construyen los productos terminados que en este caso son casas.

Como todo trabajo de investigación, se delimitó el área de estudio, para el caso en particular se seleccionaron dos proyectos similares con el fin de comparar sus métodos de trabajo, utilizando uno para analizar la situación actual y el segundo como el entorno experimental para la nueva ruta, para su selección se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

1. Avance de los proyectos
2. Tiempo disponible para la investigación
3. Capacidad de análisis del investigador y equipo de apoyo

La empresa en el momento que se inició el estudio contaba con dos proyectos, el avance que presentaban representa una estrategia base en la investigación; el proyecto seleccionado para la situación actual se encontraba en la fase final, al contrario del proyecto experimental que se encontraba en la fase inicial. En la siguiente tabla se muestran los proyectos seleccionados, así como los parámetros que definen la investigación:

Objetos de estudio	Tiempo	Investigador y equipo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraccionamiento 1 (en fase final)</li> <li>• Fraccionamiento 2 (en fase de arranque)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 meses</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidades avanzadas del investigador</li> <li>• Apoyo académico de personal capacitado</li> <li>• Apoyo profesional dentro de la empresa</li> </ul>

*Tabla 12. Resumen de las características de la investigación.*

#### **Características de fraccionamiento 1:**

- 15 casas de 50 M<sup>2</sup>
- Costo de producción por casa: \$132,819.69
- Precio de venta a contratista: \$161,975.24
- Monto de contrato final: \$2,429,628.6

#### **Características de fraccionamiento 2:**

- 17 casas
  - 9 casas de 96 M<sup>2</sup>
  - 8 casas de 123 M<sup>2</sup>
- Costo de producción por casa de 96 M<sup>2</sup>: \$230,800.99
- Costo de producción por casa de 123 M<sup>2</sup>: \$328,461.23
- Precio de venta a contratista casa de 96 M<sup>2</sup>: \$280,190.10
- Precio de venta a contratista casa de 123 M<sup>2</sup>: \$405,910.20
- Monto de contrato final: \$5,768,992.5

## 4.2. Definición del panorama general de la empresa actualmente

La empresa de estudio llamada generalmente como contratista, trabaja para una empresa constructora de mayor tamaño, es decir, esta empresa cuenta con  $n$  cantidad de contratistas que son los responsables de la producción de los inmuebles. Esta empresa de mayor tamaño es la que se identifica en el mercado como distribuidora de casas y no los contratistas en sí. Además de tener un organigrama más complejo, tienen un enfoque de actividades diferente al de los contratistas, no se involucran con el área productiva, ellos se encargan principalmente a la venta del producto final y el suministro de recurso económico.

La producción de casas está prácticamente 100% a cargo de los contratistas, teniendo la participación solo de supervisión por parte de la empresa que los contrata; a cada uno de los contratistas se le otorga un sector o espacio del proyecto total para la producción de sus casas. En la siguiente figura se observa la posición de la empresa de estudio en el panorama general del sector.



*Figura 4.1. Posición de la empresa en el panorama general.*

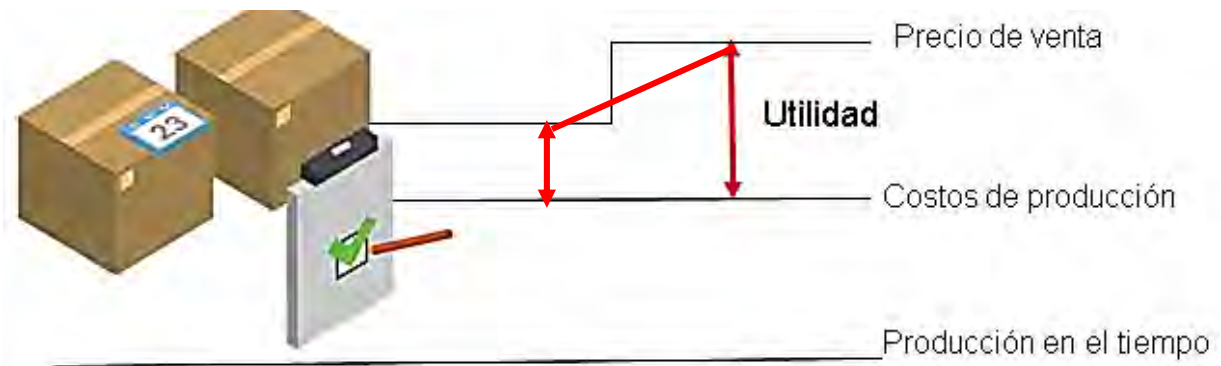
En el fraccionamiento número 2 a estudiar, el cual es el experimento dentro de la investigación, cuenta con 6 contratistas en total, anteriormente se especificaron los detalles del trabajo a realizar por la empresa estudiada.

En base a las observaciones, visitas a los fraccionamientos y entrevistas con los diferentes contratistas y la empresa que los contrata, se puede decir que uno de los principales problemas es la poca formalidad de los contratistas como empresa, es decir, por una parte la empresa que los contrata tienen una estructura de trabajo sólida, cuenta con los sistemas adecuados y el personal asignado a cada una de las actividades que desarrollan, pero por el otro lado los contratistas no tienen la estructura de una empresa habitual, no se rigen de igual forma y no se acatan a los métodos tradicionales de trabajo.

Existe un puente muy amplio entre la empresa principal y sus contratistas, la falta de comunicación entre ambas partes hace de esta industria poco eficiente. Resultaría beneficioso que existiera un vínculo entre estos dos actores debido a que a los dos les conviene producir a menor costo y trabajando juntos se podrían hacer presupuestos más justos para ambos.

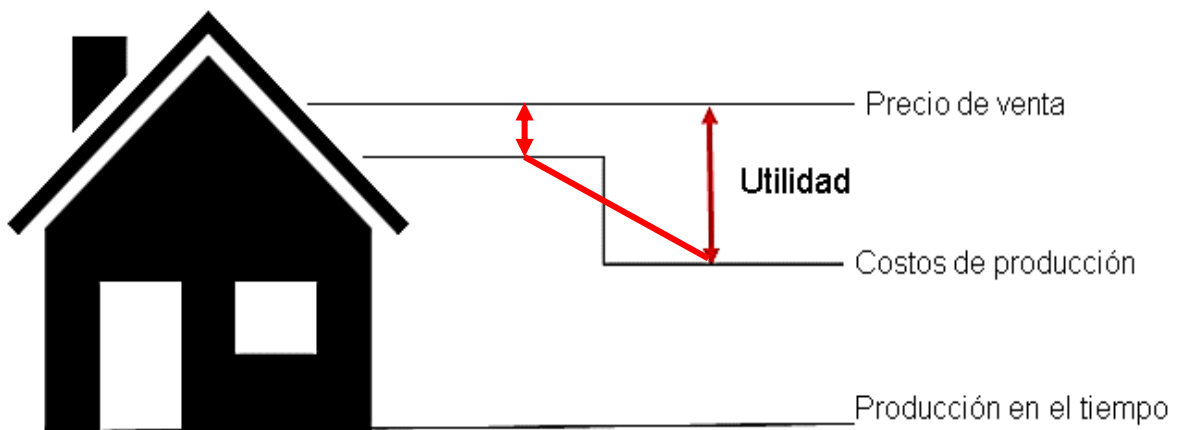
El proceso de trabajo entre estas dos empresas trabajando en “conjunto” se basa principalmente en el presupuesto, el cual representa el documento principal que indica las especificaciones del inmueble y el total de dinero que se pagara por llevar a cabo la construcción de la casa.

Hablando del caso que converge a la investigación, el contratista por lo general se enfrenta a presupuestos ajustados en los cuales el precio de venta no puede ser modificado, cosa que hace la mayor parte de las empresas para aumentar las utilidades; en la figura 4.2 se muestra como las empresas comunes tienen un poco de flexibilidad en aumentar su precio de venta para aumentar las ganancias y posteriormente en la figura 4.3 se explicará el caso particular de la construcción:



**Figura 4.2.** Obtención de mayor utilidad en empresas comunes.

Como se puede observar las empresas con el paso del tiempo tienden a aumentar el precio de venta de sus productos para aumentar las utilidades, pero ¿qué pasa en la construcción? En esta industria el contratista no establece estos precios y como empresa se limitan a tener un solo precio de venta. Conforme pasa el tiempo si las utilidades no son las esperadas lo único que se puede hacer para aumentar la dimensión de las mismas es disminuyendo el costo de producción, claro, las empresas comunes también hacen lo mismo, pero tienen la ventaja de aumentar precios de venta conforme avanza el tiempo y conforme el mercado lo marque.



**Figura 4.3.** Obtención de mayor utilidad en la industria de la construcción.

Lo anterior es una explicación de cómo se obtienen las ganancias en esta industria, misma situación que ya conocen tanto la empresa contratista que está siendo estudiada y los otros contratistas que trabajan en los proyectos de interés, sin embargo,



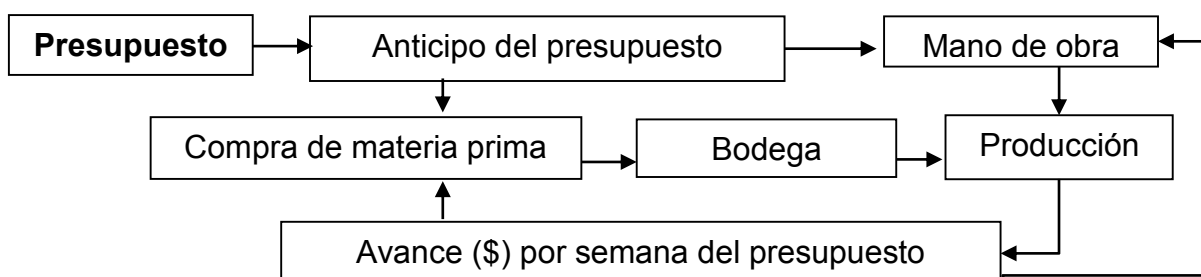
debido a la complejidad del producto que elaboran, la dificultad de controlar materiales, mano de obra y las múltiples variables existentes, hacen complicado a estas empresas cuantificar sus utilidades y terminan distribuyendo los recursos de forma inadecuada.

En base a esta situación, para la empresa es necesario reducir los costos de producción para aumentar la utilidad generada, es por eso que se considera necesario cambiar la metodología de trabajo que presentan actualmente; disminuyendo los desperdicios e identificando lo que en realidad agrega valor al producto y lo que no.

A continuación, en el siguiente apartado se muestra la situación actual a detalle, la explicación del método existente de ejecución en esta empresa para posteriormente adaptar una nueva ruta que ayude a este tipo de empresas a generar mejores resultados.

### 4.3. Identificar la ruta de planeación y ejecución existente y detección de oportunidades

Como ya se mencionó los responsables directos de que una obra se concluya a tiempo y con acuerdo al presupuesto son los contratistas. El contratista desempeña una función fundamental en todo proyecto de construcción, por lo tanto, evaluar su método de trabajo resulta beneficioso para todos los involucrados, a continuación, se plasma de forma concisa el método de trabajo actual en estas empresas, con el fin de que posteriormente se evalúe si está siendo el método adecuado de ejecución. La empresa estudiada se rige bajo un flujo simple que se reduce a la siguiente figura:



*Figura 4.4. Proceso general de la empresa.*

Como se observa el proceso actual de la empresa es simple, sin dar conclusiones aun, a continuación, se aborda a detalle en el funcionamiento actual de cada una de las etapas plasmadas, su ruta como actividad aislada y su interacción tanto con las etapas que le preceden, como las que le anteceden.

Antes de iniciar a describir las etapas fuertes del proceso, cabe mencionar que ninguna de ellas cuenta con indicadores o algún precedente que muestre su situación histórica, lo único que se puede observar es la situación actual en ese momento, es decir, la forma de trabajo y uno que otro resultado en base a la situación final del proyecto (no antes).

#### 4.3.1. Presupuesto

Este paso genera el documento más importante al momento de llevar a cabo un proyecto de construcción, este indica el monto total que van a pagar por la terminación de un producto. En la figura 4.5 se observa el presupuesto del modelo de casa del proyecto que se está evaluando (fraccionamiento 1), se muestra el monto total a pagar en cada etapa del proceso (ocultos por ser información confidencial), sin embargo, el presupuesto muestra a detalle cada actividad de esas etapas con precios desmenuzados que se pagan en proporción semanalmente conforme el avance que se presente.

<b>VIVIENDA ( 45 M2 )"X"</b>	<b>\$ 161,975.24</b>
CIMENTACIÓN	\$ 26
MUROS	\$ 35
LOSA DE AZOTEA	\$ 17
ALBAÑILERÍA	\$ 4
ACABADOS	\$ 10
CARPINTERIA	\$ 8
MUEBLES HIDRO SANITARIOS Y DE GAS.	\$ 5
INSTALACIÓN ELÉCTRICA	\$ 7
CABLE Y TELEFONÍA	\$
OBRA EXTERIOR	\$ 4
SUBCONTRATOS	\$ 33
FACHADAS	\$ 7

*Figura 4.5. Presupuesto del prototipo de casa del fraccionamiento 1.*

La utilidad de este documento en el proceso actual sólo sirve de indicador del monto total a recibir por casa, aparte de eso no tiene ninguna otra utilidad.

### Debilidades en el proceso y posibles mejoras a implementar

Debilidades	Mejoras a implementar
Falta aprovechar y utilizar la información proporcionada por el presupuesto	Análisis/definición del proyecto antes de la ejecución
	Obtener información sobre los recursos a utilizar (mano de obra y materiales).

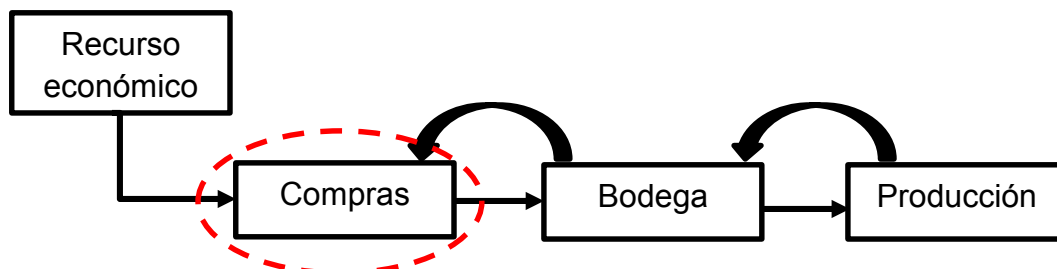
*Tabla 13. Posibles mejoras a implementar en presupuesto.*

### 4.3.2. Anticipo de presupuesto

Este paso sólo se lleva a cabo una vez, ya que al iniciar un proyecto la empresa que contrata da un anticipo del contrato total que en este caso abarca el presupuesto de 15 casas, este dinero se descuenta posteriormente de la totalidad producida en el proyecto de construcción; este recurso se da con el fin de apoyar el inicio de labores.

### 4.3.3. Compra de materia prima

Para esta tarea existen dos actores fundamentales en el proceso actual que son la bodega y compras. En la figura 4.6. se puede observar la interacción que existe entre esta parte del proceso con las demás.



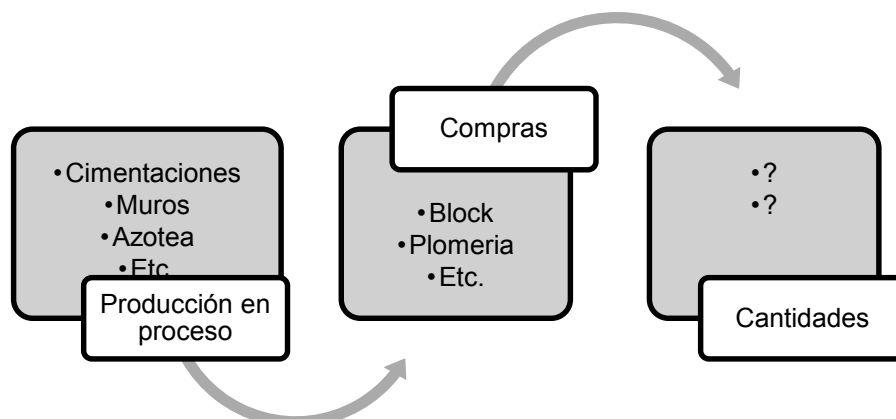
*Figura 4.6. Etapas que intervienen en la compra de materiales.*

El proceso en sí pareciera pull debido a que producción le notifica a la bodega sus necesidades y la bodega le requiere al comprador lo que la obra necesita, sin embargo,

el sistema se convierte en push al momento en que el comprador no sabe a cierto modo la cantidad exacta de materiales que se requieren para las casas que están siendo producidas.

El comprador obtiene por parte de la bodega el material que hace falta para la ejecución del programa planeado de obra (el programa se basa en etapas: cimentación, muros, etc.) y lo que este actor hace es suministrar de forma calculada dicho material, si bien, es cierto que se cuenta con el presupuesto de las viviendas que especifica las cantidades requeridas, pero en campo por la diversidad de materiales (505 tipos de materiales diferentes y cada uno de ellos se debe suministrar en diferentes cantidades) y el tiempo que conllevaría el control de cada uno de ellos, resulta inexistente la administración de los mismos, y prefieren calcular la materia prima faltante y comprar de más para que nunca falte y que obra nunca se quede sin producir y por ende seguir generando ingresos.

A continuación, se ilustra de manera general el criterio de compra de materia prima por parte del contratista:



**Figura 4.7.** Criterio general de compras.

Por este motivo la empresa siempre está generando grandes ingresos y se cree que el rendimiento del proyecto es bueno, sin embargo, al final del mismo la mayoría de los contratistas se llevan una gran sorpresa, como resultado en este caso, pero eso se verá más adelante.

Otro problema detectado en este sistema de compras es la magnitud de proveedores de la empresa, alrededor de 113 para ser más exactos, la mayoría son pequeñas empresas localizadas alrededor del fraccionamiento. La compra en menudeo genera costos de producción más elevados, además de recorridos más largos y en más cantidad a las diferentes instalaciones. A continuación, en la figura 4.8 se muestra el mapa de la ciudad con la localización del fraccionamiento y los distintos proveedores del mismo:



**Figura 4.8.** Proveedores fraccionamiento 1.

La figura arroja localizaciones tanto cerca como lejos del punto central, además de sus ubicaciones con este sistema actual los recorridos por día del comprador son considerables, en promedio las vueltas por día oscilan entre  $8 \pm 2$ .

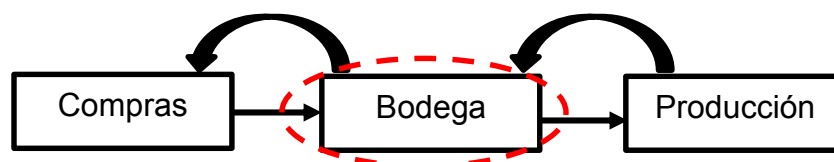
### **Debilidades en el proceso y posibles mejoras a implementar**

Debilidades	Mejoras a implementar
Uso de sistema push	Cambio a sistema pull
Cantidad elevada de productos a administrar	Compactación de productos/pedidos
Elevada cantidad de recorridos por día	Disminución de proveedores
Falta de material en producción/ material sin uso en bodega	Last planner
	Integrated Project Delivery
	Comunicación directa con almacén/control de inventarios

**Tabla 14.** Posibles mejoras a implementar en compra de materia prima.

#### 4.3.4. Bodega

La bodega forma una parte fundamental en el proceso, es donde se concentra la materia prima y representa el motor de la producción junto con mano de obra, estos dos factores son los pilares más importantes que sostienen el proyecto en general. Hablando específicamente de la bodega, se obtiene el siguiente diagrama:



**Figura 4.9.** Etapas que intervienen con la bodega.

La esencia de este lugar actualmente es resguardar material, procurando que nunca falte y teniendo como objetivo tener completo el stock para que producción no deje de ser suministrado. La bodega en este fraccionamiento cuenta con una persona que se encarga de “cuidar el material” sin embargo no lleva un control de lo que hay en existencia, tal vez por el espacio reducido del mismo no lo consideran necesario y la entrada y salida constante de material lo hace tedioso.

La empresa no puede hacer una evaluación de la utilidad obtenida por casa debido a que no se cuantifica la cantidad de material que se invierte en cada una de ellas, cuando el material sale de la bodega se toma nota de ese material que salió (método manual), pero no se especifica a que lote fue invertido y jamás es usada la información para fines administrativos.

En el estudio del fraccionamiento 1, como estaba en fase final se pudo analizar el inventario al término del proyecto, a continuación, se muestra a grandes rasgos los resultados obtenidos:

	MATERIAL	EXISTENCIAS	PRECIO UNITARIO	IVA	\$ EN INVENTARIO	PORCENTAJE EN DINERO
	4 BLOCK	1		\$ -	\$ -	0.00%
+	15 BOQUILLA	2		\$ -	\$ 210.89	0.23%
+	22 CEMENTO	12		\$ -	\$ 1,796.00	1.95%
+	27 CINTAS	6		\$ -	\$ 3,197.17	3.47%
+	34 LLAVES	70		\$ -	\$ 7,712.93	8.38%
+	43 CORROSIVOS	3.5		\$ -	\$ -	0.00%
+	49 ELECTRICO	463.35		\$ -	\$ 4,719.33	5.13%
+	86 HERRAMIENTA	39		\$ -	\$ 3,434.55	3.73%
+	111 HERRAMIENTA MENOR	7		\$ -	\$ 210.82	0.23%
+	135 IMPERMEABILIZADA	3		\$ -	\$ 2,099.51	2.28%
+	140 LIMPIEZA	8		\$ -	\$ 73.90	0.08%
+	151 LOSA AZOTEA	150		\$ -	\$ 237.80	0.26%
+	160 MUEBLES BAÑO	28		\$ -	\$ 11,147.26	12.11%
+	170 PEGAMENTO PVC- CPVC	4		\$ -	\$ -	0.00%
+	178 PINTURA	30.75		\$ -	\$ 26,927.43	29.24%
+	216 PISO CERAMICO	28		\$ -	\$ 3,197.17	3.47%
+	227 TUBO PLUS	347		\$ -	\$ 2,205.76	2.40%
+	240 PLOMERIA GAS- COBRE- GALV.	234		\$ -	\$ 11,972.27	13.00%
+	266 PUERTA	23		\$ -	\$ 8,416.96	9.14%
+	281 SELLADORES Y SILICONES	8		\$ -	\$ 278.40	0.30%
+	289 TEXTURAS MUROS	9		\$ -	\$ 860.31	0.93%
+	301 TORNILLERIA	5		\$ -	\$ -	0.00%
+	317 PVC-CPVC	399		\$ -	\$ 2,191.16	2.38%
+	374 YESO	5		\$ -	\$ 369.98	0.40%
+	377 REMATE VENTILA	23		\$ -	\$ 327.63	0.36%
+	381 TEXTURA TECHO	2		\$ -	\$ 488.29	0.53%
+	383 VENTANAS	5		\$ -	\$ -	0.00%
+	387 ROTOPLAS	14		\$ -	\$ -	0.00%
+	390				\$ 92,075.53	

*Figura 4.10. Inventario final del proyecto.*

En este análisis se encontró la existencia de 187 tipos de artículos disponibles en inventario, el 44% de esos productos no se les estableció un precio (selección aleatoria). Aun así, estimando un valor monetario en solo el 56% de los artículos dio una suma de \$92,075 pesos almacenados. De esa cifra podemos observar que el 29% es de pintura, con una investigación pudimos atribuirlo a la acumulación excesiva de este

producto en almacén, por su complejidad en manejo las personas encargadas hacían pedidos incluso de colores que ya había en existencia, como consecuencia de lo anterior se encontró una necesidad de un sistema de inventarios y una señalización adecuada dentro de almacén.

Como se puede ver, el resultado final en cuanto a desperdicio en este fraccionamiento es considerablemente alto, si se tratara de un proyecto único la pérdida representaría el 3.78% del contrato total, cuando se habla de contratos en estos sectores se habla de millones de pesos lo cual un 3% en una cifra sumamente elevada. Sin embargo, con un análisis posterior se estimó que el 36% de los artículos en inventario podía ser utilizado en el siguiente proyecto (fraccionamiento 2), si bien se trata de proyectos de casas residenciales pero el proyecto contaba con especificaciones muy diferentes. Lo anterior igualmente representa una gran pérdida de dinero, el 2.42% de desperdicio solo en materiales al final del proyecto (sin contar material desechado en producción y re trabajos en mano de obra), se considera importante buscar técnicas y métodos que contrarresten estos resultados desfavorables.

### Debilidades en el proceso y posibles mejoras a implementar

Debilidades	Mejoras a implementar
Material en exceso de un mismo tipo	5's
	Mejorar distribución del lugar
Dificultad al identificar	5's
Gran cantidad de materiales	Compactación de materiales por paquetes/disminución de tipos
	Gestión de materiales
Material no disponible	Last planner
	Lean Project Delivery System
	Integrated Project Delivery

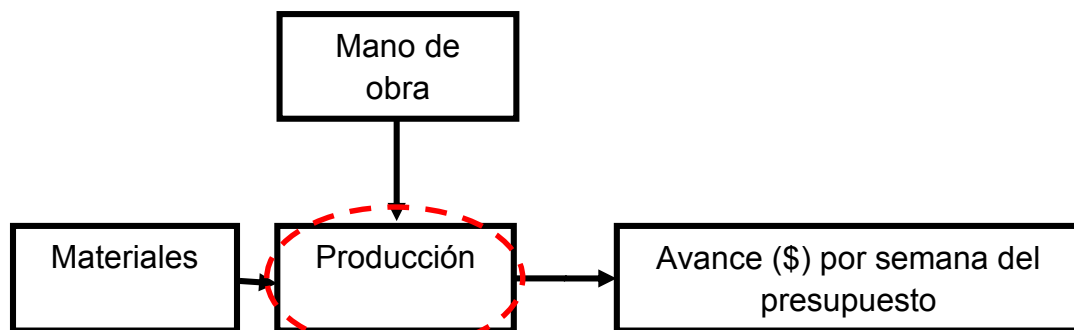
**Tabla 15.** Posibles mejoras a implementar en bodega.



### 4.3.5. Producción

Este representa el lugar físico donde se ejecuta la producción de casas, donde las únicas entradas son mano de obra y materiales. La salida de este proceso es la más importante para los contratistas porque representa el ingreso para la empresa.

Como toda empresa que elabora un producto deberían existir programas de trabajo, tiempos de ejecución de las tareas, tiempos de ciclo, tiempos estándar y muchos otros indicadores para poder hacer proyecciones a futuro, sin embargo, esta empresa trabaja bajo el sistema push en el cual solo se va empujando el trabajo, el encargado de obra no sigue una secuencia en la elaboración del producto solo ejecuta en base a la existencia de material y mano de obra que tiene. La siguiente figura muestra de forma práctica el ciclo de este proceso:



*Figura 4.11. Funcionamiento del área de obra.*

El sistema actual no se basa en conseguir lo que se requiere si no trabajar con lo que se tiene, algo que resulta interesante es que el trabajo en producción no es fluido, es decir que no siempre las casas que se están produciendo tienen avance. En la figura 4.12 se observa el ejemplo de un lote en proceso:

Con esta gráfica se puede observar que incluso este producto estuvo sin movilidad por 5 semanas consecutivas.

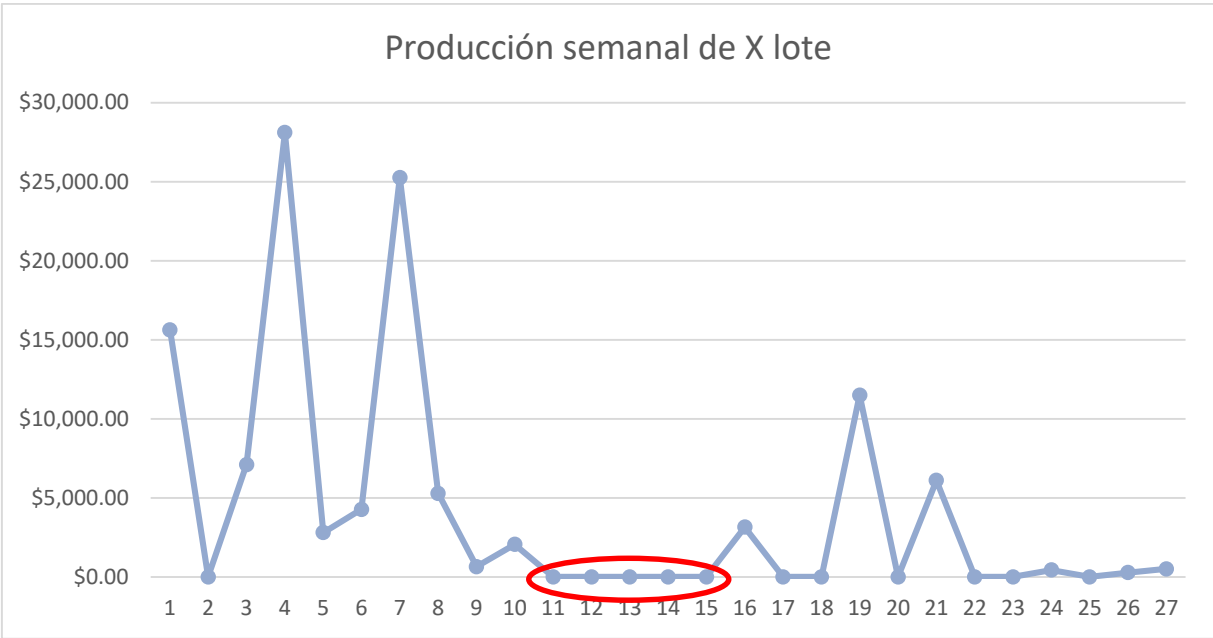


Figura 4.12. Ejemplo del avance de producción de un lote a través del tiempo.

Con la investigación que se ha realizado hasta el momento, se puede concluir que el tiempo de ejecución de un proyecto es primordial, la empresa en este momento no ejecuta bajo estándares de tiempo el proyecto, solo produce lo que puede ser ejecutado sin analizar los problemas que esto conlleva. Un ejemplo claro de esto, es que existe personal que no agrega valor al producto pero que por semana consumen recursos económicos, por lo tanto, entre más semanas conlleve la terminación del proyecto, menos será la utilidad obtenida, incluso si no se tiene una buena administración del tiempo, los recursos monetarios al final resultan negativos.

**Debilidades en el proceso y posibles mejoras a implementar**

Debilidades	Mejoras a implementar
Producción a ritmo de lo que se tiene/ el tiempo consume la utilidad del proyecto	Planes de trabajo en base al tiempo disponible para que el proyecto sea rentable (Last planner)
	Integrated Project Delivery
	Lean Project Delivery System

	Building Information Modeling
No se tienen procesos establecidos	Hacer plan de producción/secuencia de actividades
	Planeación de recursos de forma anticipada
No se cuentan con indicadores ni de mano de obra ni de materiales utilizados en producción	Gestión de recursos (ver tabla 9 y 11)
No cuentan con una producción constante por lote	One piece flow
Retrabajos/ desperdicios	Implementación de indicadores
	Eliminación de tiempo muerto
	Calidad total
	Sistema Pull

*Tabla 16. Posibles mejoras a implementar en producción.*

#### **4.3.6. Mano de obra**

La mano de obra para la empresa representa el factor más costoso y difícil de controlar, debido a la rotación constante de la misma y al trabajo especializado que se realiza. A trabajo especializado se refiere a que no cualquier persona lo puede ejecutar, en la obra se requiere por lo general a eléctricos, plomeros, pega blocks, detallistas, albañiles, herreros, etc. Actividades que solo ciertas personas saben hacer y se ocupa de la dominación del tema para la realización efectiva del trabajo.

El principal problema es que como no se tiene una programación adecuada, no se sabe cuándo se va a requerir ese tipo de mano de obra, una misma persona interactúa con el proceso de la casa varias veces y no solo una, pero por la mala coordinación

un día se ocupa cierto tipo de trabajo, pero probablemente al siguiente no. Además, al no tener metas semanales, programas de trabajo ni regulaciones exteriores, la empresa trabaja a su ritmo sin la necesidad de calcular el personal que ocupa de cada especialidad para poder tener una uniformidad en la producción y cumplir con metas establecidas.

En la empresa bajo estudio se llegan a hacer planes de trabajo, pero con tal de retener a la gente con la que cuentan cambian sin discusión previa los planes estipulados haciendo inútiles los programas anteriormente hechos. Otro factor que se ve afectado fuertemente por este actor es la calidad, en obra es muy común que se vayan dejando detalles para “después”, debido a que la persona que está realizando un trabajo es requerido para otro que a final de la semana va a retribuir más, esto se resume a contar con una gran cantidad de trabajos incompletos que ya estando pagados se pagan posteriormente como re trabajos.

La cultura de trabajo en este sector es muy particular, por lo general se paga por actividad que se ejecuta, sin embargo, esto resulta contraproducente porque los trabajadores con un 75% ejecutado al final de la semana cobran un 100% y por lo general abandonan el trabajo por diferentes causas, esto ocasiona que otra persona termine el trabajo y cobre ese 25% restante a un 50-75% de su valor total.

En este proyecto existe una tasa de pago extra de mano de obra de 18% por lote aproximadamente, no se contaba con un precio estándar por lote, se calculó con la ayuda de los ingenieros en base al presupuesto y el precio establecido por lote de mano de obra fue de \$41,429, en base a registros manuales en promedio por casa se estaba pagando alrededor de los 48 mil pesos.

Ese 18% de más, es un valor calculado en base a lo que se observó en las primeras semanas de investigación, al iniciar una administración de los pagos a personal era muy usual que los encargados de la obra duplicaran o triplicaran el pago de un concepto. La respuesta a este error es que su sistema de pagos se basa en la retención

de información del encargado y en ocasiones registros manuales, mismos que por falta de tiempo o por la excesiva cantidad de personal no eran revisados.

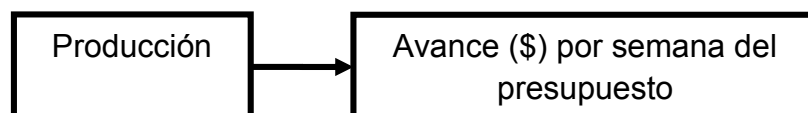
Por lo tanto, el 18% mencionado sale de ahí, de los pagos dobles o triples de un mismo trabajo o de trabajos pagados más caros por abandono del trabajador.

### Debilidades en el proceso y posibles mejoras a implementar

Debilidades	Mejoras a implementar
Mano de obra especializada	Estandarización de precio por lote
Consumo incontrolado de recursos	Gestión de pagos por lote
Se utiliza en base al material que está disponible y no en base a lo óptimo del proyecto	Lean Project Delivery System
	Last planner
	Integrated Project Delivery
	Building Information Modeling

*Tabla 17. Posibles mejoras a implementar en mano de obra.*

#### 4.3.7. Avance semanal



*Figura 4.13. Forma de obtener ingresos semanales.*

Este paso es el último dentro del proceso y es el que retribuye al contratista por sus avances en la obra cada semana, en este proyecto que se está estudiando el que calcula este avance es la empresa y no el contratista, dejando fuera del alcance de los que desarrollan la obra en si el poder cuantificar el avance. El contratista queda cegado sin saber en realidad si lo que se está cobrando en realidad es lo que se ejecutó. A fin de cuentas, el número a cobrar al final es uno, sin embargo, como empresa no se controla el flujo de dinero al no definir como empresa el avance semanal junto con la empresa contratante.

### Debilidades en el proceso y posibles mejoras a implementar

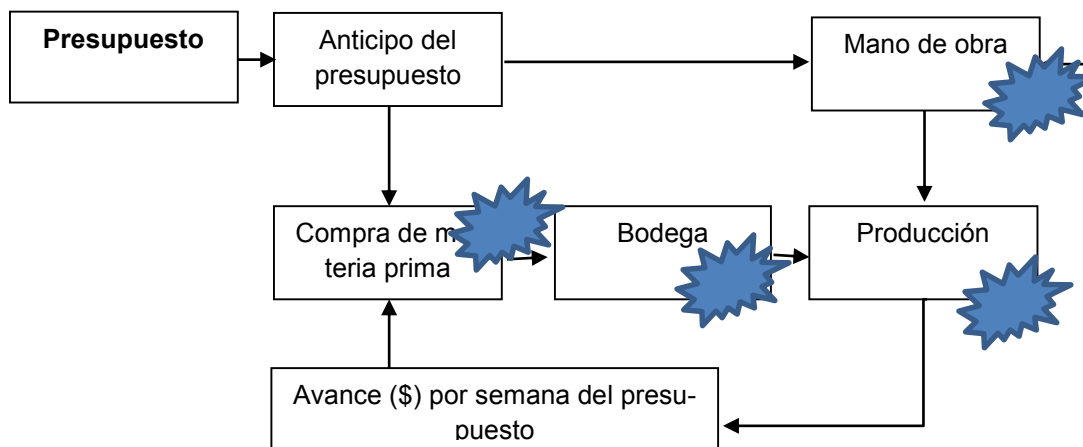
Debilidades	Mejoras a implementar
Control sobre el cobro semanal	Integrated Project Delivery

*Tabla 18. Posibles mejoras a implementar en avance semanal.*

#### 4.4. Construir la nueva ruta de planeación y ejecución basada en los preceptos de la filosofía Lean

Se propone un sistema basado en la filosofía Lean Construction en la producción de unidades habitacionales. Esta propuesta es en sí, un planteamiento global de todas las etapas, fases y procesos administrativos que se consideran importantes integrar para llevar a cabo con éxito la función referida; se considera la administración desde el desarrollo el inicio del proyecto hasta su utilización dentro de los procesos constructivos, pasando a través de las etapas de planeación, programación y control de los mismos.

La figura 4.3 será considerada para la nueva ruta, ya que la esencia del proceso es tal como se explicó en ella, el flujo y los actores que intervienen son los mismos. En base a este diagrama se harán las mejoras correspondientes en el proceso para obtener una nueva ruta de planeación y coordinación, considerando las etapas críticas a mejorar: la adquisición de materia prima, bodega, obra (producción) y mano de obra:



**Figura 4.14.** Flujo del proceso constructivo con detección de mejoras.

De igual forma se explicará cada una de las etapas del proceso, si bien, en el apartado anterior se detalló la forma de trabajo usual en esta empresa, pero si se observa detalladamente no se tiene un proceso establecido ni procedimientos a seguir, el método se rige bajo un enfoque de push en el cual solo se ejecuta lo que se puede. A continuación, se explica el nuevo método de trabajo propuesto en base a las mejoras propuestas en el apartado anterior, bajo procedimientos establecidos y un enfoque pull. Considerando la filosofía Lean Construction desde el inicio del proyecto hasta su conclusión.

#### 4.4.1. Presupuesto

Ya se explicó en que consiste el presupuesto, pero en la práctica, es decir en producción, desafortunadamente no se aprovecha este documento para fines de planeación, solo se utiliza para fines monetarios y con ello se desperdicia un sinnúmero de cosas que pueden ser de gran ayuda para la planeación y coordinación de los recursos. A la empresa al iniciar un proyecto se le entregan dos documentos fundamentales en los cuales no tiene jurisdicción, en base a estos documentos se puede deducir todo acerca de un proyecto.

En base a la metodología planteada se obtuvieron los siguientes resultados:

#### Definición del proyecto

En este paso lo esencial es establecer antes de iniciar labores cuantas casas se van a producir, cuantos prototipos y el tiempo límite para la terminación del proyecto. Para el caso de este nuevo proyecto (experimental) dichos valores son los siguientes:

Casas	Prototipos	Monto del contrato
9	96 M <sup>2</sup>	\$5,768,992.5
8	123 M <sup>2</sup>	

*Tabla 19. Información básica del proyecto*

Anteriormente se dijo que un factor importante dentro de los proyectos de construcción es el tiempo, ya que muchas veces por la prolongación excesiva de los proyectos gran parte del monto total del contrato lo consume el personal indirecto, personal que no agrega valor al producto; es de suma importancia que se establezca un tiempo límite de ejecución para que esto no pase. Para esto es necesario entender algunos aspectos, en la tabla siguiente se plasman los montos que se pagan por cada prototipo, el costo de producción estimado y el margen de contribución promedio que se espera tener.

Prototipo	Precio de venta	Costo de producción estimado	Margen de contribución	Número de casas	Margen de contribución (MC)
96 M <sup>2</sup>	\$280,190.10	\$230,800.99	\$49,389.11	9	\$444,501.99
123 M <sup>2</sup>	\$405,910.20	\$328,461.23	\$77,448.97	8	\$619,591.76
					<b>\$1,064,093.75</b>

*Tabla 20. Margen de contribución esperada en el proyecto.*

El margen de contribución calculado anteriormente contempla materiales y mano de obra directa en producción, como toda empresa es necesario mano de obra indirecta para una correcta ejecución. La tabla 20 muestra diferentes escenarios con respecto a porcentajes de indirecto a utilizar en base al monto total del contrato, también se observa el resultado final hablando de utilidad con cada uno de ellos.

% Indirecto	MC estimado	Indirecto a usar (monto contrato x %indirecto)	Utilidad final
5	\$1,064,093.75	\$288,449	\$775,644
10	\$1,064,093.75	\$576,899	\$487,194
15	\$1,064,093.75	\$865,348	\$198,745
20	\$1,064,093.75	\$1,153,798	-89,704

*Tabla 21. Posibles escenarios en base a mano de obra indirecta.*



Depende de la empresa la utilidad que desea obtener del proyecto, este análisis debe hacerse antes de iniciar labores para tener un horizonte fijo. La tabla 20 muestra claramente que con un 20% destinado a indirecto repercutiría gravemente en los resultados finales. ¿Pero cómo se sabe la cantidad de indirecto que se va a gastar? Claro está que el tiempo es un indicador de esto, entre más semanas se tarde un proyecto en culminarse esta cantidad aumentará progresivamente, esto está ligado directamente con el personal indirecto que se considere necesario para la ejecución efectiva de un proyecto. En la tabla siguiente se muestra el personal base que se ocupa en un proyecto de construcción y no agrega valor al producto:

<b>Puesto</b>	<b>Sueldo promedio</b>
Administrador	\$2500
Residente obra	\$4000
Almacenista	\$1700
Velador	\$1500
Chofer-compras	\$2500
Ayudantes generales	\$3000
<b>TOTAL</b>	<b>\$15,200</b>

*Tabla 22. Mano de obra indirecta necesaria.*

Con esta información se puede calcular el total de semanas a trabajar con la siguiente fórmula:

### **Cantidad destinada a indirectos/Indirecto por semana**

Por lo tanto:

<b>% Indirecto</b>	<b>Semanas de trabajo</b>
5	19
10	38
15	57
20	76

*Tabla 23. Semanas a trabajar por porcentaje de indirecto.*

Si se evalúan los diferentes escenarios que se plasmaron claramente el de 20% de indirecto no conviene ejecutarlo de tal forma, la mejor opción parecería que es el de utilizar el 5%, sin embargo, 19 semanas para 17 casas con las especificaciones plasmadas resulta casi imposible. El escenario ideal que se estudio fue el de destinar 10% del contrato a mano de obra indirecta y ejecutar el proyecto en 38 semanas.

### Programa por unidad

En base a las decisiones tomadas en el apartado anterior, antes de iniciar labores se debe ejecutar un plan maestro de producción, cuidando la esencia de un proceso de producción convencional que consiste en flujo continuo, es decir, que un producto está en constante movimiento. Se cuenta con 38 semanas para la ejecución de 17 casas, primeramente, se deben establecer las tareas a ejecutar por lote y los tiempos para posteriormente calendarizar cada una de ellas.

En base a la herramienta Integrated Project Delivery (IPD) se elaboró la tabla 18, esta tabla desglosa cada una de las actividades a llevar a cabo para la producción de una casa, así mismo muestra el tiempo necesario por concepto para cada uno de los prototipos estudiados en este fraccionamiento.

Código	Descripción completa	96 M <sup>2</sup>	123 M <sup>2</sup>
		Tiempo en días	Tiempo en días
A	LOSA DE CIMENTACIÓN	6	12
B	MUROS PLANTA BAJA HASTA 5TA HILADA	6	6
C	MUROS PLANTA BAJA HASTA 11VA HILADA	6	6
D	CERRAMIENTO (11va HILADA) PLANTA BAJA	6	6
E	LOSA DE ENTREPISO	3	6
F	ESCALERA	3	3
G	MUROS PLANTA ALTA HASTA 5TA HILADA	3	3
H	MUROS PLANTA ALTA HASTA 11VA HILADA	6	6
I	CERRAMIENTO (11a. HILADA) PLANTA ALTA	6	6
J	LOSA DE AZOTEA	6	6
K	PRETILES Y BASES EN AZOTEA	6	12

L	BANQUETAS PERIMETRALES	8	8
M	IMPERMEABILIZACIÓN	3	3
N	YESO EN PLAFONES PLANTA ALTA	3	3
O	ACABADO EN MUROS PLANTA ALTA	3	3
P	YESO EN PLAFONES PLANTA BAJA	2	2
Q	ACABADO EN MUROS PLANTA BAJA	2	2
R	PISO, ZOCLO Y AZULEJO PLANTA ALTA	5	8
S	PISO, ZOCLO Y AZULEJO PLANTA BAJA	9	9
T	CANCELERÍA, MARCOS Y PUERTAS EXTERIORES	9	9
U	MARCOS Y PUERTAS INTERIORES	6	6
V	HERRERÍA	3	3
W	PINTURA EXTERIOR E INTERIOR	6	6
X	CABLEADO Y ACCESORIOS	3	3
Y	MUEBLES SANITARIOS Y TINACO	3	3
Z	LIMPIEZA Y ACARREO DE ESCOMBRO	2	2

**Tabla 24.** Nomenclatura de actividades del proceso de una casa.

Una vez ya clasificadas las actividades por lote y sus tiempos se procedió a realizar el programa de obra del proyecto (anexo a).

El programa de obra se hizo para las 38 semanas que se calcularon en la definición del proyecto, el plan consiste en una producción constante en los 17 lotes, se planteó para la semana 30 la terminación de 2 casas y consecutivamente la entrega de dos productos por semana las semanas siguientes, terminando efectivamente en el tiempo estipulado.

### **Programas de control**

Los controles se establecieron para cada parte del proceso considerados importantes en la gestión de recursos de acuerdo al personal interesado:

- Compra de materia prima
- Bodega

- Producción
- Mano de obra
- Avance semanal

Este paso consiste en definir dónde y cómo se utilizarán los controles, pero sus funcionamiento detallados serán especificados en sus respectivas secciones. En la metodología se especificaban como áreas clave de gestión 4 actores, en este caso se definieron 5 por las necesidades de la empresa, ya que la finalidad de los mismos es la planeación y coordinación adecuada del proceso constructivo según la situación presente.

#### **4.4.2. Anticipo de presupuesto**

Este paso se ejecuta de la misma manera, no existen modificaciones, pero es importante mencionarlo porque es parte del inicio de un proyecto, es cual sirve para el arranque de labores. Como ya se mencionó este dinero se descuenta semana a semana de la totalidad producida en el proyecto de construcción.

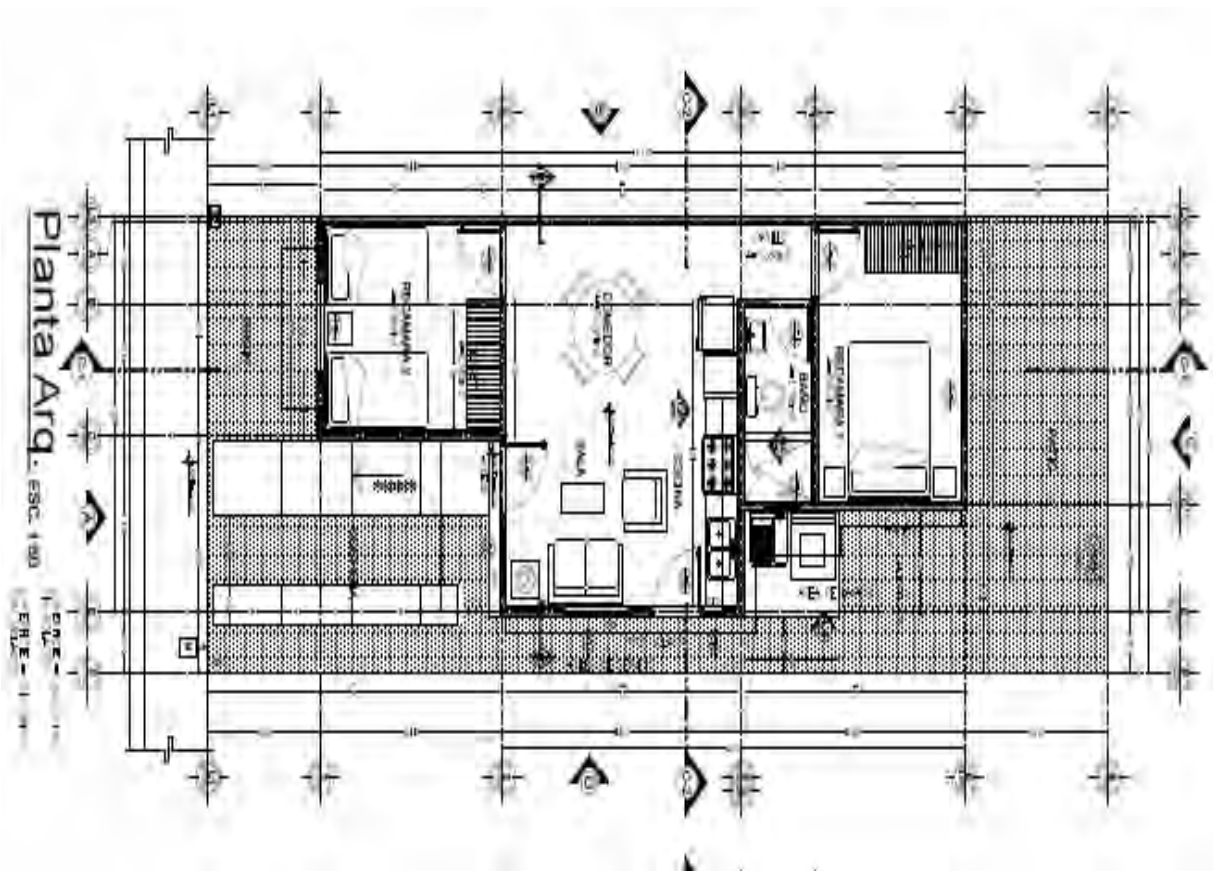
#### **4.4.3. Compra de materia prima**

Conforme lo marca la metodología se procede a desarrollar cada uno de los pasos estipulados en ella:

##### **Proyecto arquitectónico**

Al iniciar un proyecto se cuentan con los planos arquitectónicos de los modelos a producir, en este caso se trata de dos prototipos diferentes, uno de ellos corresponde al de 96 M<sup>2</sup> y el segundo corresponde al de 123 M<sup>2</sup>.

No se mostrarán los planos completos debido a la confidencialidad de la empresa, sin embargo, en la figura 4.15 se muestra un ejemplo del prototipo cuidando no mostrar detalles del mismo.



*Figura 4.15. Ejemplo de plano arquitectónico.*

### **Calculo de las necesidades por prototipo**

El principal problema observado en la empresa respecto a este proceso (compra de materia prima), es que los materiales que se utilizan son muy variantes. La cantidad en este proyecto comprende 317 tipos diferentes y cada uno de ellos en diferentes proporciones, sin hablar claro que cada uno tiene su tiempo de aparición, es por eso que es complicado poder controlar cada uno de ellos.

Bajo el nuevo sistema de requerimientos los pedidos se hicieron en base a 3 distintivos: Prototipo (modelo de la casa), proceso y actividad dentro del proceso. A continuación, se muestra un ejemplo del prototipo de 96 M<sup>2</sup> y varios más pueden consultarse en anexos B:

Prototipo                      Proceso                      Actividad

<b>Paquete 96 - CA P001</b>				
PARTIDA	SUB PARTIDA	NOMBRE SINGULAR, MEDIDA X MEDIDA, SEGUNDO	QTY	UNIDADES
CIMENTACION	ACERO	VARILLA 1/2	0	TRAMOS
CIMENTACION	ACERO	ARMEX 15X20/4	10	TRAMOS
CIMENTACION	ACERO	MALLA 6-6-6-6	0.7	ROLLO
CIMENTACION	ACERO	VARILLA 3/8	34	TRAMOS
CIMENTACION	ACERO	ALAMBRE RECOCIDO	8	KILOS
CIMENTACION	ACERO	SILLETA 3	70	PIEZAS
CIMENTACION	ACERO	HULE NEGRO	0.25	ROLLO

*Figura 4.16. Paquete requerido en la fase de cimentación respecto a acero.*

En este caso en lugar de hacer un pedido de 7 productos y estimar las cantidades como anteriormente se hacía, ahora ya se tiene un cálculo exacto de los requerimientos y para el pedido del mismo solo se tiene que pedir el paquete identificado como 96-CAP001. Se presentó el caso de que a veces no alcanzaba, sin embargo, eso se debe a errores del mismo personal y en esas situaciones el pedido de material era individual, a pesar de esto la utilización de este nuevo sistema simplifico el manejo de materiales.

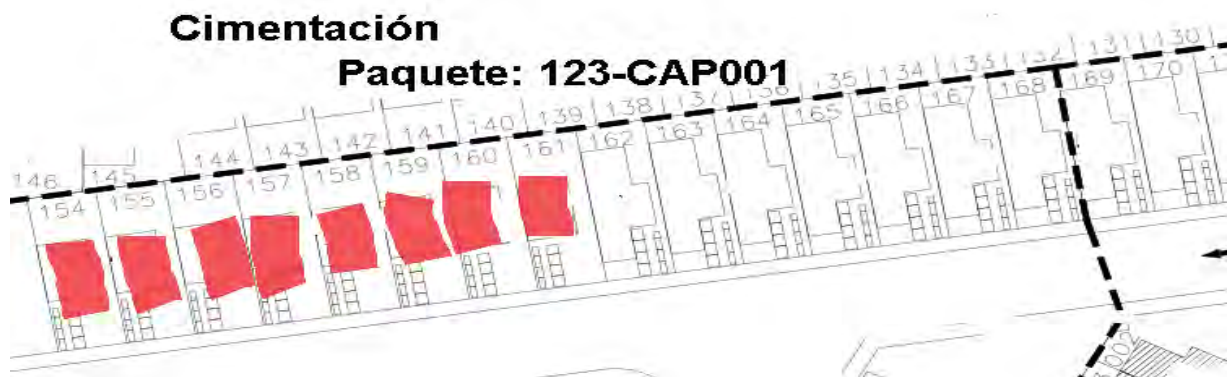
En la tabla 24 se enlistan la totalidad de paquetes calculados por prototipo:

<b>PAQUETES</b>	
<b>96M<sup>2</sup></b>	<b>123M<sup>2</sup></b>
96-CPP001	123-CPP001
96-CAP001	123-CAP001

96-CEP001	123-CEP001
96-MBP002	123-MBP002
96-MMP002	123-MMP002
96-MPP002	123-MPP002
96-MEP002	123-MEP002
96-MAP002	123-MAP002
96-MCP002	123-MCP002
96-MYP002	123-MYP002
96-MT002	123-MT002
96-EPP003	123-EPP003
96-EAP003	123-EAP003
96-EBP003	123-EBP003
96-EEP003	123-EEP003
96-MMP004	123-MMP004
96-MEP004	123-MEP004
96-MAP004	123-MAP004
96-MBP004	123-MBP004
96-MCP004	123-MCP004
96-MYP004	123-MYP004
96-MTP004	123-MTP004
96-MÑP004	123-MÑP004
96-AEP005	123-AEP005
96-AAP005	123-AAP005
96-ABP005	123-ABP005

**Tabla 25.** Paquetes por prototipo.

De la manipulación de 317 artículos diferentes, ahora se tienen solo 26 opciones, antes de este sistema los requerimientos eran calculados tentativamente, no se disminuyó el tiempo para hacer pedidos porque ese tiempo no existía, más bien se obtuvo un sistema para mejorar la gestión de la empresa. Por un lado, sirve para la compra de materia prima, pero por otro lado se usa para identificar del avance de obra, en bodega se tienen planos de los lotes del proyecto que se construye, el encargado lo que hace es ir marcando por paquete los lotes que ya lo consumieron y con ese plano se observa el material faltante (figura 4.17).



**Figura 4.17.** Consumo de paquete de cimentación-acero en lotes de 123 M<sup>2</sup>.

En este ejemplo se puede observar que ya no hace falta la compra de este tipo de paquetes, ya que del prototipo 123 solo son ocho lotes y los ocho ya están consumidos, en ocasiones un empleado pedía material para este trabajo, en esos casos era negado y se hacía una investigación respecto a ese faltante. En el anexo c se muestran evidencias de esta implementación.

### Programa de obra

El antiguo sistema de trabajo se ejecutaba en base a la disponibilidad de material y mano de obra, este nuevo método se basa en el programa de obra, si este programa no se ejecuta tal cual, es muy probable que la utilidad se vea afectada, por tal motivo con ayuda de la herramienta Integrated Project Delivery, es decir con el apoyo de todos los involucrados se planeó y aparte se coordinó en base a esté los materiales (figura 4.18).

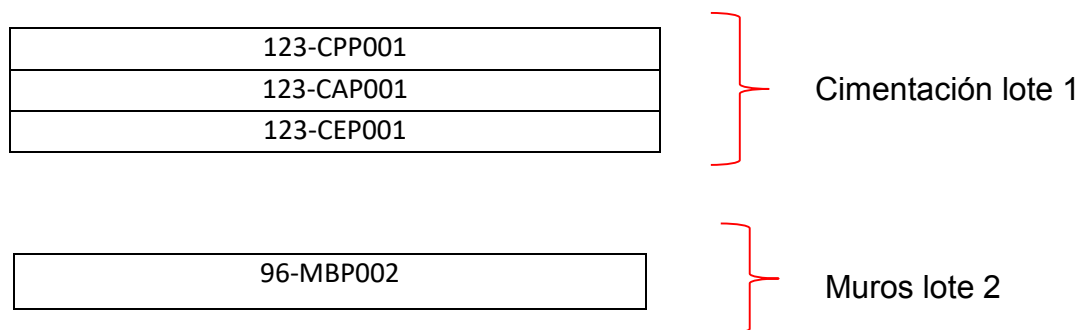
Al principio de la implementación surgieron varios problemas para poder llevarlo a cabo, ya que las primeras semanas muchos materiales no eran considerados para la semana y tenían que comprarse en des-tiempo; esto se debió a la poca familiaridad que se tenía con el nuevo sistema, los paquetes y la localización y avance de los lotes. Conforme avanzó el tiempo resultaba más fácil al encargado de bodega hacer el pedido en base a este plan de obra.



SEMANA	A	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
NUM	TIF														
1	123	A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	H,I	I,J	J	K	K	L
2	96	A	B	C	D	E,F	F	G	H	I	J	J	J	K	L
3	123		A	A	B	C	D	E	F,G	GH	H,I	I,J	J	K	K
4	96		A	B	C	D	E,F	F,G	G,H	H,I	I	J	J	J	K
5	123			A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	H,I	I,J	J	K
6	96			A	B	C	D	E,F	F,G	GH	H	I	J	J	J
7	123				A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	H,I	H,I	J
8	123				A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	H,I	H,I	J
9	123					A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	G,H	H,I
10	96					A	B	C	D	E,F	F	G	H	I	J
11	96						A	B	C	D	E,F	F	G	H	I
12	96						A	B	C	D	E,F	F	G	H	I
13	123							A	A	B	C	D	E	E,F	G,H
14	123							A	A	B	C	D	E	E,F	G,H
15	96								A	B	C	D	E,F	F	G
16	96								A	B	C	D	E,F	F	G
17	96									A	B	C	D	E,F	G

Figura 4.18. Plan de obra.

La figura anterior muestra las actividades que se van a llevar a cabo por semana (lunes a sábado), la metodología infiere programar el material de las 38 semanas de golpe, eso sería lo ideal, sin embargo, por tratarse de la primera aplicación y el tiempo se tenían encima, lo que se hizo es que los lunes de cada semana se tenía una junta para definir los materiales que deben estar en existencia para el inicio de semana siguiente. Por ejemplo, el lunes de la semana 1 se hicieron los requerimientos para la semana número 2, por lo tanto, en la bodega la semana 1 tenía solamente los materiales que se usarían en dicha semana y parte de los que se compraban para la siguiente, garantizando que el inventario en almacén no rebasara las dos semanas de trabajo. El pedido para la semana dos que se hizo incluyó los siguientes paquetes:



123-CPP001
123-CAP001
123-CEP001

} Cimentación lote 3

96-CPP001
96-CAP001
96-CEP001

} Cimentación lote 4

De esta forma se programaban los materiales por semana cuidando solo tener en almacén el material para una semana, ya que conforme uno se consumía otro llegaba para la semana siguiente.

**Selección de proveedores**

Con el antiguo sistema de trabajo, se tenían 113 proveedores diferentes, para la buena administración y la disminución de costos se depuro la cantidad de los mismo, dejando solamente 25 proveedores. Este número es alto, pero debido a la magnitud de materiales que se manejan que en promedio son 300, el número es relativamente bajo, usando prácticamente un proveedor por paquete calculado.

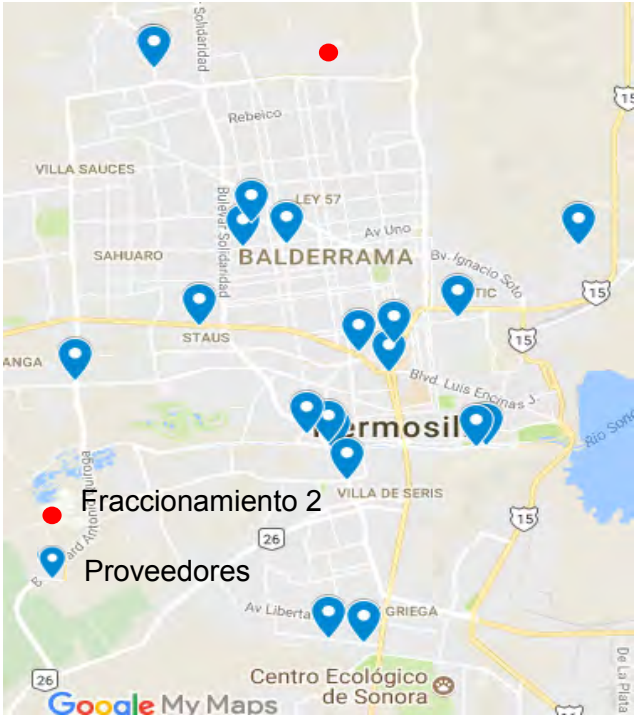


Figura 4.19. Proveedores fraccionamiento 2.

Las distancias aún se consideran muy grandes, sin embargo, el nuevo sistema consiste en que la mayoría de los proveedores surten en almacén, además con el plan de trabajo es decir con un plan de obra establecido, las vueltas de compras se redujeron de 48 por semana a solo  $6\pm 2$  por semana.

Al mismo tiempo el contar con proveedores establecidos beneficia directamente en los costos, en la siguiente tabla se muestran dos productos fuertes en la construcción, que, comprándolos de forma coordinada y planeada, se llegaron a precios más accesibles que hacen más remunerable el proyecto:

Producto	Precio antes (menudeo)	Precio después (mayoreo)	Ahorro por producto	Consumo promedio por semana	Ahorro por semana	Ahorro por proyecto aproximado
Cemento	\$220	\$190	\$30	50 sacos	\$1500	\$75,000
Yeso	\$85	\$75	\$10	15 sacos	\$150	\$5,700
					<b>Total</b>	<b>\$80,700</b>

*Tabla 26. Ahorro en dinero con proveedores establecidos.*

La reducción de los costos de producción en tan solo dos productos representa un ahorro del 1.39% del monto total del proyecto, hablando de un contrato millonario, esta cifra es alta. Con la disminución en los precios de los materiales la empresa obtuvo un panorama más holgado respecto al proyecto anterior.

#### 4.4.4. Bodega

Cada proyecto que se inicia implica un lugar nuevo, y este nuevo fraccionamiento no fue la excepción, cada proyecto necesita un lugar para resguardar los materiales necesarios para la producción, en base a los resultados que se observaron en la forma de trabajo en el fraccionamiento 1 se optó por empezar con el diseño y distribución de la misma antes de armar dicho lugar. Con la distribución antes de la fabricación se pretendía disminuir la cantidad final de materia prima en bodega, si bien con el método pasado por la complejidad del acomodo, el no tener un lugar para cada cosa y perder

de vista lo que en realidad estaba en existencia hacia que los materiales se duplicaran o triplicaran por no tener una visión y acomodo adecuado. Hacer un análisis previo ayudo a mejorar el flujo de entradas y salidas dentro de la bodega.

El diseño se basó en las debilidades identificadas en el fraccionamiento anterior:

- Salida de materiales inadecuada: este punto se atacó mediante la identificación de lugares para cada material.
- Recepción de materiales inadecuada: la descarga de material era inadecuada, al descargar se obstruía el paso al personal y tenían que esperar, en este nuevo diseño la recepción no obstaculiza a nadie y se cuidó que la descarga fuera a recorridos cortos.
- Se pedían materiales de más: Este problema se atacó con la implementación de un sistema de inventarios, así, cuando se hacia el requerimiento de materiales primero se cercioraban de que dicho material no estaba disponible en almacén.

Se consideró de vital importancia el control y monitoreo del material que se adquiere para la producción, tanto para minimizar el desperdicio de material al final de un proyecto como para solo suministrar lo necesario para la ejecución del mismo. El antiguo método consistía en tener el almacén lleno de materiales para que producción nunca parara, esto daba como resultado final el desperdicio de miles de pesos.

En base al sistema de paquetes que se diseñó en el proceso anterior, se adecuo un programa de inventarios para este sector, el cual comprendiera desde el control de entradas y salidas hasta el consumo de material por lote habitacional, con este conteo exacto se puede hacer un comparativo con el presupuesto y ver si en realidad el consumo por lote es el adecuado.

Al iniciar un proyecto con la ayuda del personal que se consideró pertinente y el presupuesto, se hizo una lista de materiales y paquetes (generados en el paso anterior) los cuales fueron dados de alta (figura 4.20).



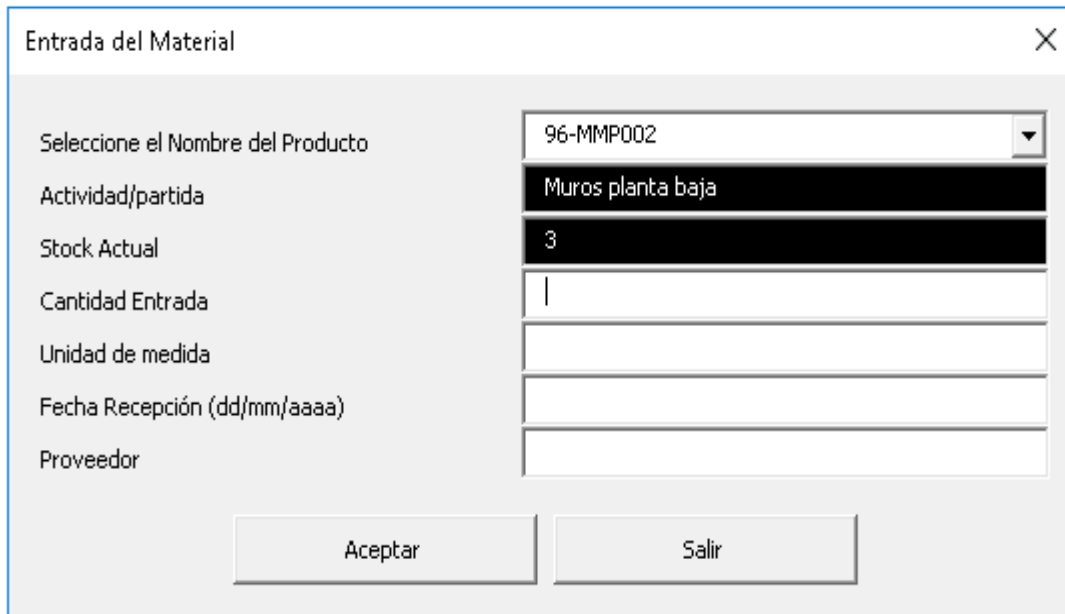
**Figura 4.20.** Caratula para dar de alta materiales.

Este paso lo que genera es una base de datos (figura 4.21) la cual servirá posteriormente para poder generar entradas y salidas de material. La base de datos mencionada solo el administrador puede modificarla y hacer uso de ella, cualquier persona externa no podrá modificar la información.

Nombre del producto	Actividad/Partida	Descripción
96-CPP001	Cimentación	Plomeria
96-CAP001	Cimentación	Acero
96-CEP001	Cimentación	Electrico
96-MBP002	Muros planta baja	Block
96-MMP002	Muros planta baja	Monomando
96-MPP002	Muros planta baja	Plomeria
96-MEP002	Muros planta baja	Electrico
96-MAP002	Muros planta baja	Acero
96-MCP002	Muros planta baja	Cemento
96-MYP002	Muros planta baja	Yeso
96-MT002	Muros planta baja	Textura
96-EPP003	Entrepiso	Plomeria
96-EAP003	Entrepiso	Acero
96-EBP003	Entrepiso	Bovedilla
96-EEP003	Entrepiso	Electrico

**Figura 4.21.** Parte de la base de datos de materiales dados de alta.

Una vez que se dieron de alta los productos y paquetes, el almacenista podía hacer uso del sistema para capturar tanto entradas como salidas. Dicha información al ser capturada podía ser utilizada para su análisis. Al dar entrada a un producto se observaba una plantilla como la siguiente:



Seleccione el Nombre del Producto	96-MMP002
Actividad/partida	Muros planta baja
Stock Actual	3
Cantidad Entrada	1
Unidad de medida	
Fecha Recepción (dd/mm/aaaa)	
Proveedor	

Aceptar Salir

**Figura 4.22.** Caratula de entrada a material.

El sistema como podemos observar indica que existen en almacén 3 paquetes correspondientes al que se buscó, al capturar la información faltante se crea otra base de datos para poder hacer análisis respecto a las entradas.

Esta base de datos fue práctica para la empresa para corroborar que todas las compras por semana eran recibidas en bodega, sirvió de control interno para cualquier aclaración con los proveedores, pero la base de datos más importante es la que se generó con la captura de salida de materiales (figura 4.23), ya que esta información sirvió para garantizar que el consumo por lote fue el adecuado (figura 4.24).

Salida del Material

Seleccione el Nombre del Producto: 96-MBP002

Actividad/partida: Muros planta baja

Stock Actual: 2

Cantidad Salida: |

Saldo Stock:

Lote:

Fecha Salida (dd/mm/aa):

Nombre del responsable:

Aceptar Salir

**Figura 4.23.** Caratula para la salida de material.

Nombre del producto	Actividad/partida	Cantidad Salida	Lote	Nombre del responsable
96-CPP001	Cimentación	1	162	HORACIO
96-CAP001	Cimentación	1	162	HORACIO
96-CEP001	Cimentación	1	162	carpintero
96-MBP002	Muros planta baja	1	162	ricardo
96-MMP002	Muros planta baja	1	162	ricardo
96-MPP002	Muros planta baja	1	162	ricardo
96-MEP002	Muros planta baja	1	162	VALENTIN FAZ
96-MAP002	Muros planta baja	1	162	VALENTIN FAZ
96-MCP002	Muros planta baja	1	162	MATUSALEM
96-MYP002	Muros planta baja	1	162	FRANCISCO CASTAÑEDA
96-MT002	Muros planta baja	1	162	ANTONIO LIMON
96-EPP003	Entrepiso	1	162	ANTONIO LIMON
96-EAP003	Entrepiso	1	162	FRANCISCO CASTAÑEDA
96-EBP003	Entrepiso	1	162	CRUZ DIAZ
96-EEP003	Entrepiso	1	162	LAZARO JUZACAMEA
96-MMP004	Muros Planta alta	1	162	LAZARO JUZACAMEA
96-MEP004	Muros Planta alta	1	162	MANUEL AYALA
96-MAP004	Muros Planta alta	1	162	FRANCISCO CASTAÑEDA
96-MBP004	Muros Planta alta	1	162	ING HORACIO

**Figura 4.24.** Base de datos de salida de materiales para cierto lote.

La figura anterior muestra los consumos de un determinado lote, si el material se hubiera duplicado o triplicado en esta base de datos se reflejaría. Con este sistema se monitorea el material de más por casa e incluso sirvió de guía para el material que le faltaba a cada una de ellas, proporcionando información valiosa para la compra de materiales y generar indicadores del desperdicio de los mismos.

#### **4.4.5. Producción**

Este actor es el proceso central de la empresa, su único objetivo es el cumplimiento del plan de obra generado, pero para eso es necesaria una correcta ejecución de sus procesos procedentes y antecedentes.

Con esta nueva forma de trabajo, el flujo de información entre las mismas se hizo más efectivo, haciendo que el plan de trabajo se cumpliera con desfases en tareas de una semana aproximadamente. Para tratarse de un modelo de prueba en base a la implementación de la metodología, se considera pertinente el haber podido cumplir en su mayoría, ya que la terminación del proyecto oscilaría en lo diagnosticado como viable.

#### **4.4.6. Mano de obra**

La naturaleza que tenía este proceso es de trabajar en base a la mano de obra que se disponía en ese momento, este nuevo proceso representa un reto ya que en base al plan de trabajo por semana se tienen contempladas ciertas actividades, por lo tanto, es un reto conseguir el personal adecuado para su ejecución. Anteriormente se mencionó que el plan de obra a ejecutar en ocasiones se desfasaba una semana, el principal motivo es la mano de obra, ya que en ocasiones no se pudo cumplir en su totalidad, pero se atendían actividades que compensaban la tarea programada.

Este paso resultó el más complicado de cumplirse, se considera necesario poner más empeño en la programación del mismo y encontrar soluciones al respecto.

#### **Cálculo del precio de cada proceso**



En base al estudio del presupuesto, realizado por un grupo multidisciplinario se determinaron los precios de cada una de las actividades estipuladas en la Tabla 9, con el fin de estandarizar el precio de mano de obra por casa.

### Control de pagos

El pago de mano de obra se dejaba a cargo del residente, basado principalmente en la memoria, se desarrolló una plantilla para poder controlar dichos pagos. En la figura 4.26 siguiente se muestra parte de esa plantilla:

		LOTE			
		152	151	150	149
<b>CIMENTACION</b>					
1	COLOCACION DE CIMBRA Y TRAZO	100			
2	EXCAVACION DE CIMENTACION	300	11/11/2017	04/11/2017	04/11/2017
3	PLOMERIA EN CIMENTACION	450	04/11/2017	04/11/2017	04/11/2017
4	RAMALEO SANITARIO	200	04/11/2017	04/11/2017	04/11/2017
5	RAMALEO GAS	200	04/11/2017	04/11/2017	04/11/2017
6	RAMALEO HIDRAULICO	200	04/11/2017	04/11/2017	04/11/2017
7	ACERO EN CIMENTACION	1000	28/10/2017	28/10/2017	04/11/2017
8	RAMALEO ELECTRICO EN CIMENTACION	100	04/11/2017	04/11/2017	04/11/2017
9	COLADO DE CIMENTACION	600	28/10/2017	04/11/2017	11/11/2017
<b>MUROS</b>					
10	BLOCK 5TA HILADA				
11	BLOCK 11VA HILADA	2800			
12	BLOCK ENRASE		11/11/2017	11/11/2017	18/11/2017
13	ACERO EN 5TA	100	04/11/2017	11/11/2017	11/11/2017
14	ACERO EN 11VA	100	11/11/2017	11/11/2017	25/11/2017
15	HABILITADO DE GRAPAS (GANCHOS)	80	25/11/2017		25/11/2017
16	PLOMERIA DE PUNTAS	250	25/11/2017	25/11/2017	25/11/2017
17	COLOCACION MONOMANDO	100			
18	LLAVE TINACO (RESANE)	80			
19	POLIDUCTO 5TA Y 11VA	100	11/11/2017	11/11/2017	11/11/2017
20	RESANADO	350	25/11/2017	25/11/2017	25/11/2017
21	RAMALEOS DE MINISPLITH	200			
22	CIMBRA Y COLADO COLUMNA	150			
23	CIMBRA Y COLADO TRABE FRENTE	150			

*Figura 4.25. Plantilla para el control de mano de obra.*

Cada proceso indica el valor monetario por su realización y enseguida se plasma la fecha en que fue pagado, en un principio al empezar a implementarlo se observó que

por semana se duplicaban pagos con una tasa mínima de 5 pagos por semana. Actualmente este sistema ya no cuenta con duplicaciones y el precio estándar por pago de vivienda se mantiene.

#### 4.4.7. Avance semanal

El avance semanal paso de ser individualista por parte del contratante a colaborativo, con integrantes de la empresa que genera el pago y la que lo recibe. En la empresa bajo estudio se implementó un sistema el cual sirvió para hacer proyecciones de la generación semanal monetariamente hablando. Este sistema se basa en el presupuesto de las casas (figura 4.26), el cual al indicar una fecha estipulada calcula automáticamente el monto a cobrar (figura 4.27), dichos montos eran revisados por ambas partes interesadas y se aprobaba el avance.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD			AL-1	AL-2	AL-3	AL-1	AL-2	AL-3	AL-1	AL-2
		RTF	P.V	TOTAL	145	146	147	148	149	150	151	152
—Trazo y nivelación del terreno para desplazar cimentación referenciado eje, incluye cuminitro de material, mano de obra y herramientas.	M2	27.51	1.68	46.22	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado de cimbras metálicas con Polia Montan 3MT-14 para cimentación con 25 uoc, incluye la fabricación material, mano de obra y herramientas necesarias para su correcta fabricación.	ML	23.63	3.38	94.05	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Colocación de cimbra metálica, incluye cimbrado, doce cimbras, limpias, desmoldante, acarreo al lugar, la mano de obra y la herramienta.	ML	23.63	4.57	107.99	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Excavación a mano en terreno compactado para destalloneo, en profundidad de 0.00 hasta 1.00 m, incluye acarreo en carretilla de hasta 20 m, mano de obra y herramienta.	M3	1.7	272.5	463.27	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Excavación a mano en terreno compactado, en instalaciones sanitarias y registro de 0.00 a 0.40 m, incluye acarreo en carretilla de hasta 20 m, mano de obra y herramienta.	M3	0.3	116.8	35.04	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Suministro y colocación de polietileno baja densidad en cimentación, incluye habilidad, corte, acarreo, cuminitro, material, mano de obra y herramienta.	M2	28.34	10.08	285.67	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado y colocación de Arma 15x20.4 para trabco en cimentación con refuerzo longitudinal de 2 varillas de 3/8" incluye acarreo, gancho, traspapeado, cuminitro, habilidad y colocación.	ML	28.25	38.15	1,077.74	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado y colocación de varilla de 3/8" para contrataba CT-1 en cimentación. Incluye acarreo, corte, traspapeado, anclaje, cuminitro de material, mano de obra y herramienta.	KG	44.36	22.17	983.46	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado y colocación de varilla de 3/8" para contrataba CT-2 en cimentación. Incluye acarreo, corte, traspapeado, anclaje, cuminitro de material, mano de obra y herramienta.	KG	19.1	22.17	423.45	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado y colocación de varilla de 3/8" en cimentación para ceterilloc ahogado. Incluye acarreo, corte, traspapeado, anclaje, cuminitro de material, mano de obra y herramienta.	KG	47.57	22.17	1,054.63	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado y colocación de varilla de 1/2" en cimentación para ceterilloc ahogado. Incluye acarreo, corte, traspapeado, anclaje, cuminitro de material, mano de obra y herramienta.	kg	2.31	20.33	59.16	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado y colocación de varilla de 3/8" para baxtoner lecho superior, en cimentación incluye acarreo, corte, traspapeado, anclaje, cuminitro de material, mano de obra y herramienta.	KG	30	22.17	665.1	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado y colocación de varilla de 3/8" para baxtoner lecho inferior, en cimentación incluye acarreo, corte, traspapeado, anclaje, cuminitro de material, mano de obra y herramienta.	KG	24	22.17	532.08	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado y colocación de malla alambre coldado 5x5 5x5 para cimentación, incluye acarreo, corte, traspapeado, amarrar, cuminitro de material, mano de obra y herramienta.	M2	29.43	51.02	1,501.52	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Suministro e instalación de pilotes para cimentación	pas	14	2.18	30.52	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Suministro de concreto promezclado F'c = 200 kg/cm <sup>2</sup> T.M.A. 3/4" con 10x2 cm, para los de cimentación, incluye colo al cuminitro.	M3	5	###	8,044.30	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Colocación de concreto promezclado en los de cimentación incluye vibrado, acabado planado y curado con separador, cuminitro de material, mano de obra y herramienta.	M2	27.51	23.33	641.81	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Prueba hidráulica en instalaciones de cimentación, incluye mano de obra y herramienta.	Lte	1	120.5	120.51	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11
—Habilitado y colocación de instalación sanitaria en cimentación, incluye material, mano de obra y herramienta.	Lte	1	681.6	681.62	18-11	18-11	11-11	11-11	4-11	4-11	4-11	4-11

Figura 4.26. Sistema para proyecciones de pagos.

LOTE	SEMANA				
	20-1	27-1	3-2	10-2	17-2
145	\$ 11,294.64	\$12,471.29	\$12,098.82	\$11,928.40	\$ 2,914.82
146	\$ 11,294.64	\$18,271.18	\$ 6,298.93	\$11,928.40	\$ 2,914.82
147	\$ 14,261.15	\$19,918.73	\$ 750.06	\$ 2,992.47	\$ 569.33
148	\$ 32,135.85	\$ 750.06	\$ 2,452.62	\$ 2,834.48	\$ 2,345.49
149	\$ 18,005.69	\$ 5,799.89	\$17,176.23	\$ 2,992.47	\$ 4,353.14
150	\$ 23,805.58	\$13,011.05	\$ 6,510.67	\$ 5,352.95	\$ 823.28
151	\$ 18,810.94	\$ 5,283.05	\$ 1,173.10	\$ 4,127.95	\$ 823.28
152	\$ 21,156.43	\$ 2,937.56	\$ 1,173.10	\$ 4,127.95	\$ 823.28
<b>TOTAL SEMANA</b>	<b>\$ 150,764.92</b>	\$78,442.81	\$47,633.53	\$46,285.07	\$15,567.44

*Figura 4.27. Estimaciones de pagos.*

El trabajar de esta forma ayudo a la empresa a tener una visión de lo que cobraría en la semana, anteriormente se trabajaba a ciegas y lo que se cobraba venia estipulado por el contratante. Con el trabajo en conjunto el flujo de efectivo semanal era seguro y conocido por la empresa.

#### 4.5. Analizar los resultados obtenidos en ambas rutas

Al iniciar el capítulo 4, específicamente en el apartado 4.2. referente a conocer el panorama general de la empresa, se habló de que al inicio del fraccionamiento 2 la empresa que da soporte a los contratistas, contaba con un total de 6. En la figura 4.28 se plasma la situación actual de dicho fraccionamiento.



*Figura 4.28. Situación actual de fraccionamiento 2.*

De los 6 contratistas que conformaban el entorno total al inicio de las labores, ahora a punto de concluirlo se cuenta solamente con la participación de dos de ellos. Con una investigación cualitativa en el mismo entorno y por una limitación de no poder estudiar los cuatro contratistas que desertaron, se concluye que el motivo principal de deserción es la falta de una gestión de recursos. A la empresa que se está estudiando le pasaron parte del trabajo realizado por dos contratistas que ya no laboraban, se tuvo complicaciones al momento de cobrar ese trabajo debido a que ya había sido pagado y la mala administración terminó en un tremendo caos que hasta el momento no se ha podido solucionar.

El haber aplicado este trabajo de investigación a la empresa ha resultado en la no deserción de la misma, los resultados obtenidos antes de su aplicación eran completamente desfavorables, que al compararlos con los obtenidos actualmente indican que sin ellas posiblemente podría ser una de las empresas caídas. A continuación, se resume de forma clara los resultados que se obtenían antes de este trabajo y posteriormente los resultados obtenidos con el nuevo sistema de trabajo.

## Fraccionamiento 1

La empresa en el momento que se inició el estudio contaba con dos proyectos, el avance que presentaban resultó una estrategia base en la investigación; el proyecto seleccionado para la situación actual se encontraba en la fase final, al contrario del proyecto experimental que se encontraba en la fase inicial.

El resultado general de estar trabajando con el método del fraccionamiento 1 se reduce a la siguiente tabla:

No. De casas	Semanas trabaja- das	Casas en- tregadas	Mano de obra indirecta- fija x semana
15	37	Dos	\$15,200

Concepto	Importe
\$ total del contrato	\$2,429,628
MO indirecta total	\$592,000

**Tabla 27.** Resumen de resultados de fraccionamiento 1.

El indirecto, personal que no agrega valor al producto consume aproximadamente en este caso 24% del monto total del contrato, en el transcurso de la investigación se concluyó que usando arriba de un 20% de indirecto del valor total del contrato, la visión es sumamente crítica. Tomando en cuenta que las casas que se entregaron fueron solo dos es un indicador muy alto que amenaza considerablemente la rentabilidad del proyecto, por estos resultados la empresa que contrata quebró y dejó una deuda significativa con varios contratistas, incluyendo la empresa estudiada.

En este proyecto no se obtuvo utilidad alguna, quedaron 13 casas en proceso constructivo. Este resultado se le atribuye principalmente a la falta de gestión de recursos y programas de trabajo.

## Fraccionamiento 2

El resultado general de estar trabajando con el método del fraccionamiento 2, es decir, aplicando la metodología propuesta se reduce a la siguiente tabla:

No. De casas	Semanas trabajadas	Casas terminadas	Mano de obra indirecta fija x semana
17	34	7	\$16,000

Concepto	Importe
\$ total del contrato	\$5,768,992.5
MO indirecta total	\$544,000

**Tabla 28.** Resumen de resultados de fraccionamiento 2.

El indirecto, personal que no agrega valor al producto lleva consumido aproximadamente 9.4% del monto total del contrato, aún faltan 10 casas, como se está trabajando en proceso en serie se espera salgan en las próximas semanas, ya que todo va acorde al programa de obra que se planteó definir en la metodología.

El segundo fraccionamiento aún no termina, pero se espera que cumpla en tiempo y forma como hasta el momento, desfasándose por diferentes causas solo una semana. En ocasiones el tiempo no es controlado y los resultados son los vistos en el fraccionamiento 1 donde el tiempo consumió gran parte del valor total del proyecto. Aplicar la metodología propuesta atribuye varios beneficios, desde saber dónde está parada la empresa hasta el dominio del tiempo ya que sirve como guía para medir la utilidad esperada.

## **5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

Al momento de implementar la metodología basada en la filosofía LC en todo el proceso constructivo de una empresa de construcción, representó un reto por sus altos niveles de cambio, sus múltiples variables independientes y el tiempo de consumo de cada uno de los proyectos. A fin de cuentas y con datos duros obtenidos en campo se pudo observar generalmente cambios significativos en los procesos y actividades, priorizando cada uno de ellas para bienestar de la empresa, poniéndoles etiquetas, clasificándolos, simplificando, etc. lográndose con ello una mayor eficiencia, planeación y coordinación en el proceso constructivo.

Al inicio de la investigación resultó de gran ayuda entender el panorama general de la empresa, este análisis brindó un soporte para lo que después sería la propuesta de mejora. Con este análisis se pudo obtener lo siguiente:

- Esquema general del proceso de trabajo
- Deficiencias en la gestión de recursos por parte de la empresa
- Variables independientes y no manipulables
- Detección de oportunidades de mejora

Con estos puntos anteriores, se obtuvo una visión de lo que se quería y no se quería como empresa, además, con la ayuda de ingenieros y todo el personal involucrado en el proceso constructivo se trabajó en la construcción de una metodología que diera como beneficio los principios básicos de la producción esbelta. La finalidad de esta metodología en todo momento fue lograr una planeación y coordinación de los recursos y el proceso constructivo en general.

Dicha metodología se planeó para un segundo fraccionamiento experimental, al momento de implementarla, se tuvieron distintas complicaciones por las variables tan cambiantes de este sector, sin embargo, con la ayuda de herramientas consideradas

dentro de esta filosofía se pudieron obtener resultados favorables. A través del documento se mencionó que las aplicaciones dentro de esta metodología no eran estrictamente consideradas dentro de la filosofía LC, si no que se utilizaron herramientas tanto dentro como fuera de ella, pero que tenían un fin común que es la reducción de desperdicios y la mejora en el manejo de recursos, que en este caso principalmente incluían materiales y mano de obra.

Como recomendaciones posteriores a este trabajo de investigación esta principalmente su reproducibilidad, es importante saber si en otros contextos, otras ciudades, otros climas, otras variables es igual de eficiente como resultó en este caso. Eficiente se refiere a que hubo cambios positivos ya mencionados anteriormente, sin embargo, se considera importante la mejora continua y la documentación de la misma.

Entre los trabajos futuros a nivel empresa se encuentra:

- Aplicación de la metodología en un tercer fraccionamiento.
- Aplicación de metodología en múltiples fraccionamientos, es decir, utilizar costo indirecto para varios proyectos en lugar de uno.
- Utilización de sistemas automáticos, los cuales generen gráficas y análisis respecto a bases de datos generadas por los sistemas ya utilizados.
- Como ya se cuenta con las bases dadas por la presente investigación, se espera que la reproducibilidad de resultados más concretos, por la limitante de tiempo, no se pudo hacer un análisis más sustancial que permitiera detalles más profundos.
- Con las observaciones hasta el momento se pueden diagnosticar a los contratistas del entorno en una situación vulnerable, se pretende crear conciencia entre contratistas cercanos para empezar a impulsar los cambios de la mentalidad constructiva a nivel local.

A nivel general en el sector constructivo en México se recomienda:



- Como la industria de la construcción consume una cantidad significativa de recursos anualmente, genera residuos significativos y produce una gran cantidad de emisiones, se recomienda no solo enfocarse en la metodología lean sino ver más opciones aplicables en el sector manufacturero que den resultados y buscar la adaptabilidad para este sector. Como enfoques Green y Six Sigma con el objetivo de mejorar la calidad y el impacto ambiental del proceso de construcción.
- México debe empezar a ver y dar importancia al sector constructivo considerando a los contratistas como una empresa sólida y buscar una estrategia para mejores resultados.
- Tomar en cuenta el desarrollo y la investigación de otros países y tratar de igualarlos y mejorarlos, con casos como el de Banawi y Bilec (2014).

Todo lo anterior no es muy complicado de implementar sin embargo este trabajo fue el inicio de los avances en la construcción a nivel local, esperando mejorar los sistemas conforme el tiempo avanza.

## 6. REFERENCIAS

Abbott, N. 2015. Time and Construction Contracts Extensions of Time and the Prevention Principle, *Insight To Hindsight*, pp. 1–9.

Abdelnaser, O. y Abdulsalam, A. 2015. Barriers to prioritizing lean construction, *ACTA TEHNICA CORVINIENSIS*, (1998).

Alarcón, L. F. y Diethelm, S. 2002. Organizing to Introduce Lean Practices in Construction Companies, *Revista ingeniería de construcción*, 17(1), pp. 54–59.

Andersen, B., Belay, A. M. y Seim, E. A. 2012. Lean construction practices and its Effects : A case study at St Olav ' s integrated Hospital , Norway, *Lean Construction Journal*, pp. 122–149.

Arce Manrique, S. 2009. *Identificación de los principales problemas en la logística de abastecimiento de las empresas constructoras Bogotanas y propuesta de mejoras.*

Assaf, S. A. y Al-Hejji, S. 2006. Causes of delay in large construction projects, *International Journal of Project Management*, 24(4), pp. 349–357. doi: 10.1016/j.ijproman.2005.11.010.

Banawi, A. y Bilec, M. M. 2014. A framework to improve construction processes: Integrating Lean , Green and Six Sigma, *International Journal of Construction management*, 14(1), pp. 58–71. doi: 10.1080/15623599.2013.875266.

Bautista, M. 2016. *Aplicación de Lean Construction a través De Un Sistema Kanban , En Un estudio de arquitectura.*

Becker, T. C. ... Asce, A. M. 2012. Comparative Analysis of Lean Construction with Design-Build Using a Framework of Contractual Forms of Agreement, (JUNE), pp. 187–192.

- Blanca y Ochoa 2011. La Planeación de Tiempos y Costos como Estrategia en la Administración de Proyectos, p. 19.
- Brett Jackson, M. S. 2013. Seven wastes, *Whorkshop Leader (Kaizen promotion office)*.
- Cano, S. ... Rubiano, O. 2015. Entornos y Sistemas de Producción en Construcción-Relación con la evolución de la aplicación de Lean Construction en Colombia, *Sibragec Elagec 2015*, 1(1), pp. 49–56.
- Casas, G. y Herbert, G. 2014. A prioritisation technique to identify key parameters that generate large changes in construction proje, *Revista de Arquitectura de la Universidad de los Andes*, pp. 224–235.
- CEESCO 2017. *Industria de la Construcción y su Incidencia sobre los costos de Construcción Junio 2017*.
- CMIC, C. M. de la I. de la C. 2017. Situación actual y perspectivas de la industria de la construcción en el sector turismo.
- CONAVI 2016. *La actividad económica de las empresas constructoras en México, CONAVI VIVIENDA*.
- Corporation, I. 2012. *Factors Affecting Construction Labor Productivity*.
- Crissinger, J. L. 2005. Design and Construction versus Weather, *Interface*, pp. 20–24.
- Díaz, H., Rivera, O. G. y Guerra, J. A. 2014. Lean Construction philosophy for the management of construction projects: a current review Hernán, 11(1), pp. 32–53.
- Dozzi, S. P. . y AbouRizk, S. M. . 1993. *Productivity in Construction*.
- El-Sabek, L. M. y McCabe, B. 2017. Coordination Challenges of Production Planning & Control in International Mega-Projects: A Case Study, *Lean Construction Journal Lean Construction Journal Lean Construction Journal*, 48, pp. 25–48.

Escrivá Monzó, J. y Savall Llidó, V. 2005. El almacén en la cadena logística, *Almacenaje de Productos*, pp. 6–21. Disponible en: <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448199278.pdf>.

Espuny, S. H. y Schneider, G. R. 2009. Aplicación del Lean Thinking a la construcción.

Fadhil Dulaimi, M. y Tanamas, C. 2001. The principles and applications of lean construction in Singapore, *Proceedings of the 9th Annual Conference of the ...*, pp. 1–14.

Faisal, A. 2014. *Construction Project Management Research Compendium*.

Gao, S. y Low, S. P. 2014. The Toyota Way model : an alternative framework for lean construction, 25(6), pp. 664–682.

García, O. 2012. Aplicación De La Metodología Lean Construction En La Vivienda De Interes Social, pp. 1–76.

Garrett, D. F. 2011. Lean Construction Submittal Process — A Case Study, pp. 84–93.

Gilbert, S. W. 2012. NIST Special Publication 1135 Characterization of the U . S . Construction Labor Supply, *NIST Special Publication 1135*, p. 2.

Giraldo-Betancur, P. C. 2009. Aplicación del modelo de sistemas de producción y medios de vida a un caso rural del departamento de Risaralda, *Revista Luna Azul*, (28), pp. 68–85.

González, J. A., Solís, R. y Alcudia, C. 2010. Diagnóstico sobre la planeación y control de proyectos en las PYMES de construcción, *Revista de la Construcción*, 9(1), pp. 17–25. doi: 10.4067/S0718-915X2010000100003.

Green, S. D. 1999. the Dark Side of Lean Construction : Exploitation and Ideology, *International Group for Lean Construction*, (7), pp. 21–32.

Groover, M. P. 2007. Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing, *Prentice Hall*, p. 815.

- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. 2014. *Metodología de la investigación, Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Holstein, W. K. y Tanenbaum, M. 2007. *Production System, Enciclopedia Británica*.
- INEGI 2009. *Economía*.
- Kasim, N. 2015. Intelligent Materials Tracking System for Construction, 47(2), pp. 218–230.
- Koskela, L. 1992. Application of the new production philosophy to construction.
- Koskela, L. 1994. Lean production in construction, *National Construction and Management Conference*, pp. 47–54.
- Koskela, L. 2000. An Exploration towards a Production Theory and its Application to Construction., *VTT Building Technology*, p. 298.
- Leanman 2015. *The seven wastes of lean What is a non-value adding What is a non-value adding operation?*
- Martinez, J. G. 2011. Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean ( Construcción Esbelta ) en proyectos de construcción Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean ( Construcción Esbelta ) en proyectos de construcción.
- Miralles, J. D. 2011. Metodología de evaluación y mejora continuada-La identificación de oportunidades de mejora y su priorización, pp. 1–15.
- Muir, B. 2005. Challenges Facing Today ' s Construction Manager, *Construction*.
- Navas, R. F., Ridl, M. R. y Torés, L. 2012. Mano de obra en la construcción : determinación de la cuadrilla óptima por medio de una herramienta de simulación Workforce in construction : determination of the optimal team through a simulation tool, *Ingeniería*, 16(2), pp. 151–163.

- Pons Achell, J. F. 2014. Introducción a lean construction, *Fundación laboral de la construcción*.
- Proverbs, D., Holt, G. y Cheek, H. 2000. Construction industry problems: the views of UK construction Directors, *Proceedings of the 16th Annual ...*, 1(September), pp. 73–81.
- Radchenko, A. E. y Petrochenko, M. V 2014. Introduction : role of logistics processes in building organizations, *Construction of Unique Buildings and Structures*, 1(905), pp. 32–39.
- Rojas López, M. D., Henao Grajales, M. y Valencia Corrales, M. E. 2017. Lean construction – LC bajo pensamiento Lean, *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), pp. 115–128.
- Roy, R., Brown, J. y Gaze, C. 2003. Re-engineering the construction process in the speculative house-building sector, *Construction Management and Economics*, 21(2), pp. 137–146.
- Roy, R., Low, M. y Waller, J. 2005. Documentation, standardization and improvement of the construction process in house building, *Construction Management and Economics*, 23(1), pp. 57–67.
- Saad, S., Christine, P. y Andrew, K. 2017. The concept of ‘institutional waste within the Construction industry’: A potential theoretical framework, *Lean Construction Journal*, 24, pp. 12–24.
- Sarkar, D. y Mangrola, M. 2016. Development of lean i ntegrated project delivery model for highway projects, *International Journal of Construction Project Management*, 8(1).
- Shingo, S. 1990. A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint, *Manufacturing Engineer*, (10), p. 257.
- Simonsson, P. y Emborg, M. 2007. Industrialization in Swedish bridge engineering: A case study of lean construction., ... *the International Group for Lean Construction*,

(July), pp. 244–253.

Suarez, C. 2005. *Costo Y Tiempo En Edificacion*.

Thomassen, M. A. ... Nielsen, A. 2003. Experience and results from implementing lean construction in a large Danish contracting firm, *Proceedings of 11th Annual Conference on Lean Construction*, pp. 644–655.

Vieira, D., Calmon, J. y Cortes, M. 2017. Architecture, engineering and construction ( AEC ) industry, *Journal of modern project management*, (2016).

Wallace, W. 2014. Gestión de Proyectos, 2014(1106), p. 234. Disponible en: [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40722402/pr-bk-taster\\_gestion\\_proyecto.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1506219834&Signature=3X0w9iFBCKbR00EYgLzaWgqENOQ%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DGestion\\_de\\_Proye](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/40722402/pr-bk-taster_gestion_proyecto.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1506219834&Signature=3X0w9iFBCKbR00EYgLzaWgqENOQ%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DGestion_de_Proye).

## 7. ANEXOS

A)

SEMANA		A	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
NUM	TIF														
1	123	A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	H,I	I,J	J	K	K	L
2	96	A	B	C	D	E,F	F	G	H	I	J	J	J	K	L
3	123		A	A	B	C	D	E	F,G	GH	H,I	I,J	J	K	K
4	96		A	B	C	D	E,F	F,G	G,H	H,I	I	J	J	J	K
5	123			A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	H,I	I,J	J	K
6	96			A	B	C	D	E,F	F,G	GH	H	I	J	J	J
7	123				A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	H,I	H,I	J
8	123				A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	H,I	H,I	J
9	123					A	A	B	C	D	E	F,G	G,H	G,H	H,I
10	96					A	B	C	D	E,F	F	G	H	I	J
11	96						A	B	C	D	E,F	F	G	H	I
12	96						A	B	C	D	E,F	F	G	H	I
13	123							A	A	B	C	D	E	E,F	G,H
14	123							A	A	B	C	D	E	E,F	G,H
15	96								A	B	C	D	E,F	F	G
16	96								A	B	C	D	E,F	F	G
17	96									A	B	C	D	E,F	G

15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
L	L	L	M	N,O	P,Q,R	R	S	S,T	T	U
L	L	L	M	N,O	P,Q,R	R	S	S,T	T	U
L	L	L	L	M	N,O	P,Q,R	R	S	S,T	T
L	L	L	L	M	N,O	P,Q,R	R	S	S,T	T
K	L	L	L	M	M	N,O	P,Q,R	R	S	S,T
K	L	L	L	L	M	N,O	P,Q,R	R	S	S,T
K	K	L	L	L	L	M	N,O	P,Q,R	R	S
K	K	L	L	15,16	L	M	N,O	P,Q,R	R	S
J	K	K	L	L	L	L	M	N,O	P,Q,R	R
J	J	K	L	L	L	L	M	N,O	P,Q,R	R
J	J	J	K	L	L	L	L	M	N,O	P,Q,R
J	J	J	K	L	L	L	L	M	N,O	P,Q,R
H,I	I,J	J	K	K	L	L	L	L	L	N,O
H,I	I,J	J	K	K	L	L	L	L	L	N,O
H	I	J	J	J	K	L	L	L	L	L
H	I	J	J	J	K	L	L	L	L	L
G	H	I	J	J	J	K	K	L	L	L



26	27	28	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38
V,W	X,Y	Y	Z	Z								
V,W	X,Y	Y	Y	Z								
U	V,W	X,Y	Y	Z	Z							
U	V,W	X,Y	Y	Y	Z							
T	U	V,W	X,Y	Y	Z	Z						
T	U	V,W	X,Y	Y	Y	Z						
S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Z	Z					
S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Z	Z					
S	S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Z	Z				
S	S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Y	Z				
R	S	S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Y	Z			
R	S	S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Y	Z			
P,Q,R	R	S	S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Z	Z		
P,Q,R	R	S	S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Z	Z		
N,D	P,Q,R	R	S	S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Y	Z	
N,D	P,Q,R	R	S	S,T	T	U	V,W	X,Y	Y	Y	Z	
L	N,D	P,Q,R	R	S	S,T	T	U	V,W	X,Y	32	Y	Z

B)

Paquetes prototipo 96 M<sup>2</sup>

Paquete 96-CP001				
PARTIDA	UB PARTID.	NOMBRE SINGULAR, MEDIDA X MEDIDA.	QTY	UNIDADES
CIMENTACION	PLOMERIA	CODO 2X30 PVC	5	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	CODO 2X45 PVC	2	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	CODO 4X30 SALIDA TRASER	1	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	CESPOL BOTE UNA SALIDA A	1	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	YEE 4X2 PVC	2	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	TEE 2 PVC	1	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	TUBO 4 PVC	1.5	TRAMOS
CIMENTACION	PLOMERIA	PEGAMENTO PVC	1	BOTE
CIMENTACION	PLOMERIA	CODO 1/2X30 CPVC	20	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	TEE 1/2 CPVC	9	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	COPLÉ 1/2 CPVC	4	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	PEGAMENTO CPVC	0.25	LITROS
CIMENTACION	PLOMERIA	CODO 3/4X30 PVC	4	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	TEE 3/4 PVC	1	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	TUBO 1/2 CPVC	12	TRAMOS
CIMENTACION	PLOMERIA	TUBO 2 PVC	1	TRAMOS
CIMENTACION	PLOMERIA	TUBO 3/4 PVC	1	TRAMOS
CIMENTACION	PLOMERIA	CODO 3/4X45 PVC	1	PIEZAS
CIMENTACION	PLOMERIA	TAPON CACHUCA 1/2 CPVC	13	PIEZAS

<b>Paquete 96-CEP001</b>				
<b>PARTIDA</b>	<b>SUB PARTIDA</b>	<b>NOMBRE SINGULAR, MEDIDAXMEDIDA, SEGUNDO</b>	<b>QTY</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>CIMENTACION</b>	<b>ELECTRICO</b>	POLIDUCTO 3/4	10	ML
<b>CIMENTACION</b>	<b>ELECTRICO</b>	POLIDUCTO 1	2.5	ML

<b>Paquete 96-MPP002</b>				
<b>PARTIDA</b>	<b>SUB PARTIDA</b>	<b>NOMBRE SINGULAR, MEDIDAXMEDIDA,</b>	<b>QTY</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	CODO 2X90 PVC	2	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	CODO 2X45 PVC	1	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	CODO 1/2X90 CPVC	9	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	TEE 1/2 CPVC	1	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	CONECTOR MACHO 1/2 CPVC	9	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	CONECTOR HEMBRA 1/2 CPVC	3	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	COUPLE 3/4 PVC	3	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	CODO 3/4X45 PVC	3	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	TUBO 3 PVC	3	METROS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	TEE 2 PVC	1	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	REDUCCION 2X1.5 PVC	1	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	LLAVE DE PASO PARA TINACO	1	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	COUPLE 1/2 CPVC	6	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	TUBO 1.5 PVC	0.5	TRAMOS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	TEFLON	1	ROLLO
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	TAPON HEMBRA POLIMER	7	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	TAPON MACHO POLIMER	3	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	PEGAMENTO PVC	1	BOTE
<b>MUROS</b>	<b>PLOMERIA</b>	PEGAMENTO CPVC	1	BOTE

<b>Paquete 96-MEP002</b>				
<b>PARTIDA</b>	<b>SUB PARTIDA</b>	<b>NOMBRE SINGULAR, MEDIDAXMEDIDA, SEGUNDO</b>	<b>QTY</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>MUROS</b>	<b>ELECTRICO</b>	POLIDUCTO 1/2	100	ML
<b>MUROS</b>	<b>ELECTRICO</b>	POLIDUCTO 3/4	2.5	ML
<b>MUROS</b>	<b>ELECTRICO</b>	CHALUPA	29	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>ELECTRICO</b>	OCTAGONAL	3	PIEZAS

<b>Paquete 96-MBP002</b>				
<b>PARTIDA</b>	<b>SUB PARTIDA</b>	<b>NOMBRE SINGULAR, MEDIDAXMEDIDA, SEGUNDO</b>	<b>QTY</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>MUROS</b>	<b>BLOCK</b>	BLOCK MEDIO	120	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>BLOCK</b>	BLOCK COMUN	857	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>BLOCK</b>	BLOCK DALA	208	PIEZAS
<b>MUROS</b>	<b>BLOCK</b>	BLOCK AJUSTE	55	PIEZAS

### Paquetes prototipo 123 M<sup>2</sup>

<b>Paquete 123-CP001</b>				
<b>PARTIDA</b>	<b>SUB PARTI</b>	<b>SINGULAR, MEDIDAXMEDIDA, CANTIC</b>	<b>UNIDAD</b>	
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	CODO 2X90 PVC	4	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	CODO 2X45 PVC	4	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	CODO 4X90 PVC	1	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	CESPOL BOTE	2	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	YEE 4X2 PVC	2	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	TEE 2 PVC	2	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	TUBO 4 PVC	10	METROS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	CODO 1/2X90 CPVC	19	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	TEE 1/2 CPVC	5	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	COPL 1/2 CPVC	3	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	CODO 3/4X90 PVC	4	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	TEE 3/4 PVC	1	PIEZAS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	TUBO 1/2 CPVC	11	TRAMOS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	TUBO 2 PVC	10	METROS
<b>CIMENTACION</b>	<b>PLOMERIA</b>	TUBO 3/4 PVC	7	METROS

Paquete 123-CAP001				
PARTIDA	SUB PARTIDA	MEDIDAXMEDIDA, SEGUNDO DESCRIPTOR, MATERIAL	CANTIDAD	UNIDADES
CIMENTACION	ACERO	VARILLA 1/2		TRAMOS
CIMENTACION	ACERO	ARMEX		TRAMOS
CIMENTACION	ACERO	MALLA		ROLLO
CIMENTACION	ACERO	VARILLA 3/8		TRAMOS
CIMENTACION	ACERO	ALAMBRE		KILOS

Paquete 123-MPP002				
PARTIDA	SUB PARTIDA	MEDIDAXMEDIDA, SEGUNDO DESCRIPTOR, MATERIAL	CANTIDAD	UNIDADES
MUROS	PLOMERIA	CODO 2X90 PVC	2	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	CODO 2X45 PVC	1	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	CODO 1/2X90 CPVC	8	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	TEE 1/2 CPVC	3	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	CONECTOR MACHO 1/2 CPVC	9	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	CONECTOR HEMBRA 1/2 CPVC	3	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	COPLER 3/4 PVC	3	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	CODO 3/4X45 PVC	3	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	TUBO 3 PVC	3	METROS
MUROS	PLOMERIA	TEE 2 PVC	1	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	REDUCCION 2X1.5 PVC	1	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	LLAVE DE PASO PARA TINACO	1	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	COPLER 1/2 CPVC	6	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	TUBO 1.5 PVC	0.5	TRAMOS
MUROS	PLOMERIA	TEFLON	1	ROLLO
MUROS	PLOMERIA	TAPON HEMBRA POLIMEX	7	PIEZAS
MUROS	PLOMERIA	TAPON MACHO POLIMEX	3	PIEZAS

Paquete 123-MEP002				
MEDIDAXMEDIDA, SEGUNDO				
PARTIDA	SUB PARTIDA	DESCRIPTOR, MATERIAL	CANTIDAD	UNIDADES
MUROS	ELECTRICO	POLIDUCTO 1/2	50	ML
MUROS	ELECTRICO	CHALUPA	20	PIEZAS
MUROS	ELECTRICO	OCTAGONAL	3	PIEZAS

C)

