

CARACTERIZACIÓN DE LOS ENTORNOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN
DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN
COLOMBIA Y SU RELACIÓN CON LA APLICACIÓN DE LEAN
CONSTRUCTION.

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
INDUSTRIAL

LAURA MARCELA ESCOBAR MERCADO. CÓDIGO: 201052041

ERIKA IDALY PÉREZ PÉREZ. CÓDIGO: 201350295

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA INDUSTRIAL

PALMIRA

2015

CARACTERIZACIÓN DE LOS ENTORNOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES EN COLOMBIA Y SU
RELACIÓN CON LA APLICACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION

LAURA MARCELA ESCOBAR MERCADO

ERIKA IDALY PÉREZ PÉREZ.

DIRECTOR:

INGENIERA SANDRA LILIANA CANO MOYA, M.Sc.

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA INDUSTRIAL

PALMIRA

2015

RESUMEN

El entorno de fabricación y sistema productivo son dos conceptos que tienen mucha relación entre sí, el entorno por su parte se considera lo que influye dentro de un proceso y se refiere a la forma en que se gestiona el proyecto; el sistema productivo hace referencia a cómo se maneja o bajo que configuración funciona el proyecto en este caso. Es importante conocer de qué manera se llevan a cabo los proyectos de construcción para así identificar los aspectos que puedan contribuir a mejorar la productividad del sector al intervenir la gestión de los proyectos mediante estrategias efectivas, como lo es la Filosofía Lean aplicada a la construcción. La Filosofía Lean construction (LC) se ha propuesto como un eficiente modelo de gestión, o un enfoque de gestión, por parte de reconocidos académicos y practicantes, dirigido a los proyectos de construcción que busca maximizar el valor y minimizar las pérdidas en los proyectos de construcción. La literatura resalta que LC ayuda a mejorar la estabilidad, el rendimiento, el desempeño y las utilidades del negocio, de igual manera contribuyen a reducir el costo, tiempo y la calidad en los proyectos de construcción, esto siempre y cuando se cuente con la disposición del capital humano para apropiarse de la Filosofía y a adaptarla para su éxito. (Pons, 2014, p.35).

Este trabajo de grado propone realizar el estudio y posterior caracterización de los entornos y sistemas productivos de proyectos de construcción de edificaciones, con una aplicación particular en Colombia, para posteriormente identificar en este marco una adecuada aplicación de LC. La metodología de este trabajo planteó varias fases para llevar a cabo cada uno de los objetivos propuestos, que comprenden un estudio bibliográfico para la caracterización de los entornos y sistemas productivos. La propuesta de un marco de caracterización a los proyectos de construcción en donde se visualiza cada fase o cada etapa, sus características y sus relaciones. Finalmente se

propone un marco de factores, y sus relaciones, para mirar la contribución de estos con la exitosa aplicación de LC.

ABSTRACT

The manufacturing environment and production system are two concepts that have much to do with each other, the environment for their part making an allowance for what influences within a production process; and it refers to the way the project is managed; the production system refers to how it handles or lower than the project setting works in this case. It is important to know how construction projects in order to recognize the aspects that can help develop the productivity of the sector to intervene management projects through effective strategies are carried out, such as the Lean philosophy applied to construction.

Lean construction philosophy is a management model or a management approach directed towards construction projects, it seeks to maximize value and therefore minimizing losses in construction projects one can infer that lean construction helps to improve stability, performance, profit, time and quality in construction projects. This applies only when the human resource involved appropriates lean philosophy and applies it to success.

This research proposal formulates a study and subsequently characterizes environments and productive systems of construction projects of edifications in Colombia. This is done the purpose of knowing under what circumstances or under which production systems a construction project is directed, observing the major influences on process of executing a construction project. Once this and the characterization are finished the next step that took place was the analysis of the relation between the characterization and the application of lean construction.

In the contents of this investigation various phases have been laid out for each one of the proposed objectives, in order to complete the first objective, these phases initially set out to complete a bibliographic research necessary for the characterization of environments and production systems.

Secondly this investigation intends to suggest this characterization framework to construction projects in which one can visualize each phase or stage of a project, its characteristics and the relations between these. The third and final phase of this investigation intends to propose a framework of factors and the relations between them needed for the application of lean construction.

CONTENIDO

CAPITULO 1.....	16
INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	16
Planteamiento del problema	17
Justificación.....	22
Objetivos	24
Objetivo general	24
Objetivos específicos.....	24
CAPITULO 2.....	25
Marco referencial	25
Entorno de producción	25
Sistema productivo.....	28
Definición	28
Tipos de sistemas de producción	28
Filosofía Lean.....	30
Orígenes de la Filosofía lean.....	30
El concepto MUDA o desperdicio.....	31
Mura.....	32
Muri	32
Clasificación de los siete desperdicios	32
Beneficios de la Filosofía Lean	33
Origen de Lean Construction	33
Definición de Lean Construction.....	34
Lean Project Delivery System (LPDS).....	36
CAPITULO 3.....	38
ESTADO DEL ARTE.....	38
CAPITULO 4.....	42
MARCO CONCEPTUAL DE INVESTIGACIÓN	42
La Ciencia del Diseño	42
CAPITULO 5.....	43
METODOLOGÍA.....	43
CAPITULO 6.....	45
RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	45
Antecedentes a la caracterización	45

Desarrollo del tamaño de la muestra	46
Análisis inicial a la revisión bibliográfica	47
Selección de herramienta	49
Método seleccionado	51
Trabajo de campo	53
Entrevistas	53
Descripción del participante	54
Temas para introducir la entrevista	54
Sistema de producción.....	56
Preguntas para la entrevista	56
MATRIZ.....	60
Importancia del cliente en los proyectos de construcción.....	74
Tipos de clientes.....	74
Participación del cliente y los sistemas productivos	74
Punto de penetración del pedido	75
CAPITULO 7.....	76
DESARROLLO DEL TRABAJO	76
Caracterización de los entornos y sistemas de producción	76
Caracterización de los entornos y su relación con el punto de penetración del pedido OPP	76
Caracterización de los sistemas de producción en proyectos de construcción	77
Flujo secuencial acompasado por la unidad de producción	79
Marco de caracterización	79
Fases de un proyecto de construcción	80
Pre- factibilidad.....	80
Anteproyecto arquitectónico	81
Planificación.....	81
Construcción.....	81
Entrega, operación y mantenimiento.....	82
Clasificación de acuerdo a atributos que los ajusten como sistemas productivos y el tipo de gestión.	84
Propuesta del marco de caracterización como sugerencia a los proyectos de construcción de edificaciones en Colombia	86
MARCO DE CARACTERIZACIÓN.....	87
CAPITULO 8.....	91

FACTORES Y SUS RELACIONES EN LA APLICACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION	91
Factores maestros de la aplicación de LC	91
Análisis estructural y relaciones entre factores	95
Evaluación de indicadores propuestos	98
CONCLUSIONES	100
RECOMENDACIONES.....	101
REFERENCIAS.....	102

GLOSARIO

Caracterización: Fase descriptiva con fines de identificación, entre otros aspectos, de los componentes, acontecimientos (cronología e hitos), actores, procesos y contexto de una experiencia o un hecho. La caracterización es un tipo de descripción cualitativa que puede recurrir a datos o a lo cuantitativo con el fin de profundizar el conocimiento sobre algo. Para cualificar ese algo previamente se deben identificar y organizar los datos; a partir de ellos, describir de una forma estructurada; posteriormente, establecer su significado

Entorno: Conjunto de circunstancias o factores sociales, culturales, morales, económicos, profesionales, etc., que rodean una cosa o a una persona, colectividad o época e influyen en su estado o desarrollo.

Factores: En un nivel general, un factor es un **elemento** o una **concausa** (cosa que, junto con otra, es la causa de un efecto)

Lean construction: Lean Construction (Construcción sin Pérdidas en español) es un enfoque dirigido a la gestión de proyectos de construcción. Se originó en el *Lean Production Management*, produjo una revolución en el diseño y producción industrial en el siglo XX. Este enfoque maximiza el valor y minimiza las pérdidas de los proyectos, mediante la aplicación de técnicas conducentes al incremento de la productividad de los procesos de construcción.

Punto de penetración del pedido OPP: El punto de la cadena de valor donde el producto está vinculado a un cliente específico se denomina el Punto de penetración del pedido o Punto de desacople, (sigla en inglés: OPP), donde el producto está vinculado a un cliente específico y es un punto de interés al momento de definir la estrategia de negocio en donde se mueve la organización.

Sistema productivo: El sistema productivo se define como un entorno de elementos materiales y teóricos que realizan la transformación de unas entradas. Están compuestas por: Trabajo humano, Energía, Materiales, Dinero en parte invertido en maquinaria e instalaciones e Información.

Buffer: conocido también como Work in process, el material que está almacenado entre las operaciones de una línea de ensamble o acumulamiento intermedio.

Micmac: El análisis estructural es una herramienta de estructuración de una reflexión colectiva. Ofrece la posibilidad de describir un sistema con ayuda de una matriz que relaciona todos sus elementos constitutivos.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis en primer lugar a DIOS, quien me inspiro, me ayudo, me brindo la sabiduría y la fortaleza para culminarla.

A mis profesores tanto del colegio como de la universidad, pues me inculcaron con valores y conocimiento que fueron relevantes en toda mi formación como ingeniera industrial.

A mi abuela Melba, el ángel que me ilumina desde el cielo, gracias porque así estuvieras lejos, siempre sentí tu compañía, tus bendiciones y tu alma siempre vivirá conmigo.

A mi madre, Mariana y mi tía Berley gracias infinitas por tanto amor y por tanta dedicación, son las mejores madres del mundo y esto es por ustedes y para ustedes.

Al único padre que he conocido, Eliecer, a ti te dedico esta tesis con todo el amor del mundo, el mismo amor que tú me brindas.

Y por último pero no menos importante, a Felipe, por brindarme su amor y su apoyo en todo este proceso.

Con cariño, Erika.

A mi familia y amigos por acompañar este proceso.

Con cariño, Laura Marcela.

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. Gestión de la producción desde el ciclo de vida de un proyecto	37
Fig. 2. Descripción del Framework Método	52
Fig. 3. Entornos de Producción y su relación con el punto de penetración	77
Fig. 4. Fases y Factores de un proyecto de construcción	82
Fig. 5. Marco de caracterización propuesto	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuadro comparativo de características de una fábrica y la construcción	18
Tabla 2. Filosofía tradicional de producción en manufactura vs. Filosofía de Producción lean en construcción	18
Tabla 3. Indicadores de control	20
Tabla 4. Ejemplos de tipos de sistemas de producción	30
Tabla 5. Calculo del tamaño de la muestra	46
Tabla 6. Requerimientos mínimos para el uso de Nvivo	48
Tabla 7. Cuadro comparativo entre métodos	50
Tabla 8. Descripción del participante	54
Tabla 9. Modelos de gestión de producción	61
Tabla 10. Entorno de producción	66
Tabla 11. Sistemas de producción	69
Tabla 12. Aplicación de Lean Construction	72
Tabla 13. Clasificación de acuerdo a atributos que los ajusten como sistemas Productivos y su tipo de gestión	84
Tabla 14. Síntesis del estudio	96
Tabla 15. Evaluación de Indicadores propuestos	98

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra directora de trabajo de grado la profesora Sandra Liliana Cano Moya por su dedicación, paciencia y entrega durante todo el proceso de investigación.

A la Universidad del Valle, por habernos formado en esta carrera tan hermosa y completa.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

La industria de la construcción es considerada como una industria conservadora y resistente a los cambios. Sin embargo, en el siglo XX se introduce algunos conceptos de concepto la Filosofía Lean Construction, que lo que busca es eliminar todas las actividades y/o elementos que no agreguen valor (Nesensohn & Bryde, 2012).

En el contexto mundial, la industria de la construcción presenta diversas variables que afectan la productividad, rendimiento y capacidad de sus empresas, por lo que es necesario conocer y estudiar estos aspectos y disponer de herramientas que permitan la adecuada gestión de todos los recursos utilizados en el sistema productivo en general. De la misma forma es necesario conocer la relación que existe entre la Filosofía Lean Construction, los sistemas y los entornos productivos, de estos últimos depende en cierta forma una buena aplicación de este modelo gerencial (Pons, 2014, p. 35).

El presente trabajo se enfoca en la caracterización de los entornos y sistemas de producción en relación con los proyectos de construcción de edificaciones en Colombia para así ofrecer un mejor entendimiento de sus particularidades con fines académicos, también busca identificar la relación que existe entre estos y la aplicación de Lean Construction (en este trabajo de grado se va a nombrar de ahora en adelante Lean Construction como LC).

El diseño metodológico empleado para medir los beneficios y herramientas a utilizar se desarrollan a lo largo de este trabajo de grado, estos permiten visualizar las ventajas y los beneficios de la posible implementación de esta Filosofía a la industria de la construcción. Siguiendo con esta idea y con el fin de dar fundamento probable al trabajo de grado se realiza una serie de entrevistas en empresas de construcción en Colombia con el fin de observar los sistemas de trabajo y su relación con los entornos productivos de las empresas objeto de estudio.

Para llevar a cabo este trabajo se plantea adoptar como forma de investigación la ciencia del diseño, descrita en el capítulo 4. Además realizar entrevistas personales con los encargados dentro de las empresas de construcción con el fin de realizar un diagnóstico sobre los esquemas productivos de construcción en Colombia, a partir de esto se busca seleccionar las herramientas y/o técnicas que permitan abordar sobre la caracterización y el estudio de elementos y factores críticos seguido de esto se requiere la caracterización de dichos entornos productivos con esto se logrará obtener un panorama que permita conocer cómo funcionan los entornos en Colombia, y que tanto se ajustan o no a la Filosofía LC. Por último se definirán los factores pertinentes que contribuyen a la exitosa aplicación de LC mediante el método micmac (método de análisis estructural) se definirán los más influyentes dentro de este estudio.

Planteamiento del problema

Estudios previos de aplicaciones de Lean Construction, como los del autor Clauss Nesensohn, permiten inferir que para las empresas de hoy, es importante realizar inversiones que representen la mayor utilidad posible y que puedan ser recuperadas con el tiempo (Pons, 2014, p. 19).

Entre los modelos de gestión existentes, se encuentra la gestión Lean de proyectos de Construction; con esta se prevé reducir al máximo posible el tiempo invertido en actividades que no agregan valor al cliente final, es decir, disminuir las pérdidas en las actividades de construcción, actividades por las que el cliente no está dispuesto a pagar. La industria de la construcción puede ser conocedora de los beneficios y resultados que por datos históricos la inclusión de Lean Construction ha ofrecido a otras industrias de construcción, sin embargo la limitación de inversión, no es exclusivamente económica sino de tiempo, espacio y disposición, esto conlleva resistencia al cambio (Granados, 2011, p. 14).

Se cree conveniente detallar o realizar una comparación entre las características de una fábrica y el contexto de la construcción con el fin de conocer sus semejanzas o diferencias; además dentro de este trabajo de investigación servirá como base para conocer cómo se maneja un proyecto en manufactura y como se maneja en construcción.

Tabla 1. Cuadro comparativo de características de una fábrica y la construcción

	VOLUMEN DE PRODUCCIÓN	CONDICIONES NATURALES	UBICACIÓN DE PRODUCCIÓN	TRABAJADORES
TRABAJO DE MANUFACTURA	Grandes cantidades	Principalmente en lugar cerrado	Fábrica	En muchos casos se contrata a trabajadores regulares por un periodo largo
TRABAJO DE UNA OBRA DE CONSTRUCCIÓN	Producto único	Principalmente en lugares abiertos (Susceptible a condiciones naturales inciertas)	Lugar de la obra	Los trabajadores frecuentemente se cambian de una obra a otra (Alta rotación)

Tabla 2. Filosofía tradicional de producción en manufactura vs. Filosofía de producción lean en construcción

DESCRIPCIÓN	PRODUCCIÓN TRADICIONAL EN MANUFACTURA	PRODUCCIÓN LEAN EN CONSTRUCCIÓN
CONCEPTUALIZACIÓN DE LA PN	La producción consiste en conversiones (actividades o tareas) y todas añaden valor al producto.	La producción en construcción consiste en conversiones y flujos. Sólo las primeras agregan valor al producto.
ENFOQUE DE CONTROL	Dirigido hacia el costo de las actividades (formado por conjunto de operaciones, funciones o tareas).	Dirigido hacia el costo, tiempo y valor de los flujos (ciclo de los procesos) y minimizar variabilidad.
ENFOQUE DE MEJORAMIENTO	Incremento de la eficiencia por medio de la adopción de nueva tecnología.	Mejora continua respecto al desperdicio y valor y periódicamente respecto a la eficiencia a través de la implementación de nuevas tecnologías.

Para complementar este trabajo de grado se seleccionaron indicadores básicos cualitativos de lean como manera de evaluación de objetivos. Los indicadores cualitativos son aquellos basados en entrevistas o encuestas, tal como se trabajó en la recolección de información primaria en este trabajo de investigación, también son los basados en informaciones no estructuradas.

Para la estructuración de criterios de evaluación de los indicadores seleccionados, se tuvieron en cuenta factores relacionados con la información bibliográfica del tema base (Lean) y la relacionada a la industria de la construcción, así como el nivel de información obtenida por medio de artículos consultados sobre indicadores cualitativos (del trabajo de campo realizado a través de la investigación y por último el cumplimiento de objetivos planteados en el inicio del trabajo. (Baena, Cases & Medina, 2005, p. 4). En la tabla 3 se encuentran estructurados los indicadores con que se medirá el alcance de los objetivos propuestos:

Tabla 3. Indicadores de control

Indicadores	
Bibliografía	De acuerdo al estudio bibliográfico: Contenido bibliográfico encontrado en relación a la filosofía Lean Contenido bibliográfico encontrado en relación a la industria de la construcción Contenido bibliográfico encontrado en relación a la industria de la construcción en Colombia Información bibliográfica encontrada de los entornos de producción y sistemas de producción en construcción
Modelos de Negocio	De acuerdo a las entrevistas: ¿Se identificaron modelos de negocio definidos en las empresas evaluadas?
Modelos de Gestión	¿Se identificaron modelos de Gestión de Proyectos de construcción en las organizaciones? ¿Contribución de los modelos de gestión de los proyectos a la aplicación de LC? ¿El entorno de producción de la empresa se desarrolla teniendo en cuenta a LC?
Entorno de Producción	¿Se identifica claramente un sistema de producción en las organizaciones?
Sistema de Producción	Nivel de implementación de LC en las organizaciones
Aplicación de LC	Barreras identificadas en la organización en la aplicación de LC
Objetivo N°1	
Caracterización de los entornos de gestión y sistemas de producción de proyectos de construcción, mediante revisión bibliográfica y trabajo de campo	
Objetivo N°2	
Nivel de propuesta del marco de caracterización	
Objetivo N°3	
Marco de caracterización propuesto de los factores y sus relaciones que contribuyan al éxito de la aplicación de LC en la Gestión de proyectos de construcción	
Fuente: Elaboración Propia	

Para medir los indicadores anteriormente planteados, se proponen cuatro (4) categorías de calificación tal como se mostrará a continuación, en donde a criterio de los investigadores se calificarán en la etapa final, teniendo en cuenta el nivel de recolección de la información y el alcance de los objetivos:

Categorías de calificación

Muy satisfactorio	10-9
Satisfactorio	8
Medianamente satisfactorio	7-6
Insatisfecho	5-4

Los resultados de la medición de estos indicadores se encuentran en el capítulo 8, en donde se miden de acuerdo a las categorías definidas.

Si bien es cierto que el entorno productivo es fundamental para el éxito de cualquier modelo gerencial porque le permite a la organización conocer sus fortalezas y oportunidades. Así como también se entiende que los entornos productivos son parte importante para lograr que un modelo gerencial sea efectivo en una organización; desafortunadamente en la actualidad no se cuenta con la información necesaria que permita caracterizar dichos entornos y sistemas en construcción y a su vez tampoco es muy fácil encontrar información sobre cómo se integra lean construction, es por ello que el problema de investigación requiere caracterizar el proyecto de construcción según su entorno y sistema de producción para tener una idea clara de cómo este ayuda a que el modelo gerencial sea efectivo en la organización. El análisis o estudio del entorno o sistema productivo mostrará cada elemento o factor crítico dentro de los proyectos de construcción y permitirá su posible caracterización para que de esta forma las empresas conozcan cómo están manejando sus entornos y por consiguiente mejoren su modelo gerencial.

En el presente trabajo de grado se pretende recolectar información (esta será obtenida por medio del cálculo de un tamaño de muestra que sea representativa para el total de empresas a nivel nacional, este soporte se encuentra en el capítulo 6; el alcance de esta investigación está considerado nacionalmente, pero debido a la poca información que se pudo recolectar, se desarrollará el trabajo haciendo énfasis en que se hubiese querido abarcar un poco más la

población total de las empresas constructoras) que permita diagnosticar los diferentes esquemas productivos de construcción en Colombia mediante la utilización de técnicas (encuestas personales con los encargados dentro de las empresas constructoras) y herramientas (análisis de resultados- matriz resumen) que permitirán componer la caracterización de los modelos de gestión utilizados en los proyectos de construcción en Colombia.

Considerando lo anterior se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿De qué manera, a partir de conocer los entornos y sistemas de producción de proyectos de construcción, se puede proponer una manera de aplicación de LC?

Justificación

Dentro de los modelos de gestión aplicados actualmente en construcción se encuentra la gestión Lean, en este modelo gerencial se plantea la solución a la mayoría de los problemas del desarrollo de este tipo de proyectos; se plantea que esta Filosofía ayuda a mejorar el desempeño, la calidad, el rendimiento y el costo en sus actividades.

Para relacionar el LC con empresas de construcción es relevante conocer su influencia en estas, y cómo se gestiona todo el ciclo de vida de los proyectos; es por este motivo que dentro de este trabajo de investigación se consideró pertinente caracterizar los entornos y sistemas de producción de proyectos de construcción de edificaciones en Colombia mediante entrevistas y trabajo de campo (este estudio fue posible gracias a la muestra que se pudo obtener dando como resultado un total de 18 empresas constructoras a nivel nacional, en el capítulo 6 se explicara con mayor detalle este aspecto) y entender la relación con la aplicación de LC. Al caracterizar los entornos y sistemas de producción, se pretende identificar qué características se asocian con manufactura y así en este sentido sugerir un marco de aplicación de LC con el fin de que las empresas lo adopten para su gestión. Y como última medida, conocer que factores están directamente relacionados a una aplicación exitosa de Lean Construction.

Además de la anterior justificación, el presente trabajo servirá como referente en el estudio de modelos de gestión de proyectos de construcción, que podrá ser utilizado para posteriores investigaciones relacionadas con el tema en el país.

Objetivos

Objetivo general

Estudiar, para los entornos y sistemas de producción de proyectos de construcción de edificaciones en Colombia, las características que favorecen la aplicación de Lean Construction.

Objetivos específicos

- Caracterizar los entornos de gestión y sistemas de producción de proyectos de construcción, mediante revisión bibliográfica y trabajo de campo.
- Sugerir el marco de caracterización a los proyectos de construcción de edificaciones en Colombia y clasificarlos de acuerdo a atributos que los ajusten como sistemas productivos y el tipo de gestión.
- Proponer para el marco de caracterización los factores y sus relaciones que contribuyan al éxito de la aplicación de LC en la Gestión de proyectos de construcción.

CAPITULO 2

Marco referencial

Entorno de producción

A pesar de que la construcción es un sector industrial que aporta 1.3 millones de empleos directos al país, que crece el doble de la economía en su conjunto, y jalona 28 sectores económicos (comerciales, industriales y financieros), cuyas inversiones anuales ascienden casi a 40 billones de pesos. La construcción en Colombia se caracteriza por su pobre desempeño.

Así por ejemplo, es común el incumplimiento de plazos en la entrega de los proyectos, la baja calidad de los productos entregados, las altas tasas de accidentes y el gran impacto ambiental; factores generados en su mayoría por grandes deficiencias en la etapa de planificación y por la falta de integración en los procesos de diseño, planeación y construcción. (Forero, 2014).

Existen herramientas que permiten contribuir a una buena gestión en lo que concierne a los elementos que componen un sistema productivo, los cuales contribuyen a la disminución de limitaciones que inciden negativamente en el flujo de valor, por ello y de manera general en el campo de la construcción a nivel mundial se detectan características como por ejemplo el tiempo de entrega, recursos, que no van de acuerdo con la idea de flujo de valor ni la productividad.

Entorno a los proyectos de construcción, existen diferentes connotaciones tales como Make to Stock, Assemble to Order, Make to Order y Engineer to Order, que se relacionan directamente con los sistemas productivos y los entornos de producción de donde se pueden obtener factores relevantes que contribuyen a la estructuración (de acuerdo al pensamiento sistémico) del proceder correcto a la hora de proponer un direccionamiento a la aplicación de Lean Construction en la industria. Una de las barreras de negación de la introducción al conocimiento y asimilación de LC en la industria de la construcción hace referencia al entorno cultural, esta es denominada como tradicionalista y resistente a un cambio de enfoque.

La influencia del cliente suele asimilarse en la industria, no solamente en la de la construcción, de dos maneras (Chapman, 2006, p 34).

- Atribución a la importancia del pensamiento del cliente y en torno a ello, trabajar en una estrategia básica empresarial que lo abarque.
- Reacción ante el comportamiento del mercado

Se han denominado categorías según el grado de influencia del cliente (de menor a mayor):

- Fabricación para almacenamiento (MTS, Make to Stock).

Los clientes pueden tener cierta influencia de manera general en el diseño de una fase primaria. No obstante, el cliente toma una de dos decisiones: obtenerlo o no.

- Armado bajo pedido (ATO, Assemble to Order).

El cliente es más influyente debido a que puede seleccionar opciones a partir de estándares definidos con anterioridad.

- Fabricación bajo pedido (MTO, Make to Order).

El cliente especifica claramente lo que desea obtener como producto o servicio final, teniendo en cuenta que la materia prima utilizada para tal fin sea estándar en el sistema productivo.

- Ingeniería bajo pedido (ETO, Engineer to Order)

La decisión del diseño producto o servicio está completamente definida por el criterio del cliente

- Procesamiento por lotes o intermitente.

Se producen varios diseños (flexibilidad), a pesar de la especialización y sistematización.

El entorno de las diferentes industrias se define a través de los denominados calificadores de pedidos y factores generadores, todo por medio del cliente quien es el impulsador del mercado:

Algunas de las más importantes prioridades competitivas incluyen (Chapman, 2006,p. 38):

- Precio. Se relaciona con el costo. Hay dos tipos de categorías de precio:
 - Precio estándar.
 - Precio a la medida.
- Calidad.
 - Calidad tangible, mediciones específicas, entre ellas calidad estándar conformidad, confiabilidad y durabilidad.
 - Calidad intangible, valor para el cliente (reputación o marca, estética, receptividad y servicio al cliente).
- Entrega.
 - Velocidad: rapidez en entrega.
 - Confiabilidad
- Flexibilidad.
 - Volumen
 - Variedad

En general, la gestión de proyectos de construcción ha de crecer conforme lo ha hecho la magnitud del sector; este en Colombia, emplea en la actualidad 1'491.316 de personas en el territorio nacional, es decir 7 % del total de la fuerza laboral ocupada. Uno de cada cuatro empleos generados en el 2014 fue en el sector de la construcción, valor presentado por el DANE en enero del presente año. Esto ubica a la construcción en una de las tres ramas de la economía que más empleo le genera al país.

Con la investigación e implementación de la Filosofía LC, se apunta al mejoramiento y/o solución de las múltiples deficiencias identificadas en ésta importante industria, inherentes al proceso evolutivo ya que conforme ha crecido, han cambiado los diferentes entornos.

Se han presentado críticas que hacen referencia a la no cobertura de la gran mayoría de las obras de construcción, sin embargo la experiencia ha demostrado que la aplicación de LC es acertada a todo tipo de proyecto en la industria de la construcción.

Si bien es cierto que existe una gran cantidad de aspectos que abarcan esta Filosofía, tales como: entrega, costo, calidad y tiempo. Es clave identificar y ponderar algunos, como lo es el cliente y

todo su entorno, ya que estos son muy diferentes a los de hace más de 25-30 años, su conocimiento exige más en cuanto a calidad, seguridad, responsabilidad social, precios etc.

Los métodos de producción han sido uno de los menesteres considerados por LC, teniendo en cuenta la variedad y continua mejora a que está expuesto este sector. Se fijan ciertos objetivos generales, estos deberán ser estudiados para los casos particulares ya que en la construcción no es común ver la ejecución de los mismos proyectos ya realizados por lo tanto no se aplican objetivos específicos de igual manera en todos los procesos, pero se planifica la aplicación de LC en cuanto a mejoras respecto de la reducción de costos (Chapman, 2006, p. 34).

Sistema productivo

Definición

El sistema productivo se define como un conjunto de elementos materiales y teóricos que realizan la transformación de unas entradas. Las entradas están compuestas por: Trabajo humano, energía, materiales, dinero en parte invertido en maquinaria e instalaciones e Información. (Valhondo, 2014, p. 6).

Tipos de sistemas de producción

Se definen siete tipos de sistemas de producción, los cuales se explican detalladamente (Valhondo, 2014, p. 7).

- **Producción por montaje:** se refiere a una secuencia lineal y establecida de operaciones que se encadenan hasta conseguir el producto final.
- **Producción sobre pedido:** el producto en estudio se fabrica sólo después de haberse realizado el pedido.

- **Producción para stock:** se define por ser una producción intermitente y que se anticipa a futuros grandes pedidos para poder cumplir los plazos.
- **Producción de proceso continuo:** en este caso, el ritmo de producción es frenético durante un largo periodo de tiempo. Esto puede ser debido a una alta demanda constante del producto.
- **Producción por lotes:** es el caso de las empresas que elaboran una cantidad limitada de un mismo producto cada vez.
- **Producción por celdas:** se refiere a aquellas empresas que utilizan en sus procesos de fabricación celdas de manufactura, esto es, un conjunto de máquinas que trabajan de manera coordinada y permiten la fabricación en serie del producto, pues cada una tiene una función diferente.
- **Justo a Tiempo (Just In Time):** este sistema se define por producir exactamente lo que se necesita, en el momento en que se necesita y con la máxima calidad. Se basa en la eliminación de los desperdicios del sistema, como pueden ser la sobreproducción o los inventarios.

En la siguiente tabla se puede observar el tipo de sistema de producción y un ejemplo para mayor claridad:

Tabla 4. Ejemplos de tipos de sistemas de producción

Tipos de sistemas de producción	Ejemplo
Producción por montaje	Ingenios azucareros
Producción sobre pedido	La construcción de edificios, plantas industriales, caminos, puentes
Producción para stock	Almacenes de consumo masivo
Producción de proceso continuo	Refinerías petroquímicas, suministros de servicios (luz, agua), producción de acero
Producción por lotes	Ebanisterías y talleres de reparación de vehículos
Producción por celdas	Empresas de bisagras industriales
Fuente: Elaboración propia	

Filosofía Lean

Orígenes de la Filosofía lean

Japón fue la cuna de la Filosofía de producción en la década de 1950 en donde la compañía Toyota fue la primera en adoptar el TPS (Total Production System) como sistema de producción. La esencia del Sistema de Producción de Toyota se basa en la eliminación de inventarios y demás desperdicios por medio de la producción de pequeños lotes, disminución de tiempos, máquinas más automatizadas, buen entendimiento con los proveedores y demás metodologías.

Asesores estadounidenses como Juran, Deming y Feigenbaum encauzaron la industria japonesa cuando se presentaron problemas relacionados con la calidad, llevando esta Filosofía desde el método estadístico del control de calidad a una perspectiva más amplia, apoyándose en herramientas como los círculos de calidad y otros, para contribuir con el progreso de la

compañía. Sólo hasta el principio de la década de 1980 la comprensión de ese nuevo enfoque en los países occidentales, era adoptado pero de manera limitada.

No obstante, en América y Europa estas ideas se difundieron, principalmente en la industria automotriz, en 1975. A raíz de la cantidad considerable de libros publicados en la década de 1980 sobre la Filosofía manufacturera, tales como: La máquina que cambió el mundo, de James P. Womack, Daniel T. Jones y Daniel Roos y Lean Thinking: cómo utilizar el pensamiento Lean para eliminar los desperdicios y crear valor en la empresa de J. Womack y D. Jones. En donde se analiza detalladamente el enfoque de esta filosofía, finalmente se consolida el concepto de la nueva Filosofía de producción, también conocida como producción ajustada, manufactura de clase mundial y nuevo sistema de producción en la década de 1990 y se tecnifica como el enfoque emergente dominante. Japón ha sido la cuna del desarrollo de la Filosofía de producción y por ende la innovación en enfoques y herramientas consolidó la fortaleza de esta Filosofía, tal como el Despliegue de la Función de Calidad (QFD). En 1982 se crea la Asociación de Investigación: New Production System (NPS) con el fin de afianzar e implementar el novedoso sistema de producción en diferentes compañías. (Koskela, 1992, p.58).

El concepto MUDA o desperdicio

La base de la Filosofía Lean, se enfoca en eliminar el desperdicio y realizar sólo actividades que le creen valor al cliente, esto es denominado Muda o Desperdicio. Al comprender inicialmente esta denominación, se comprenderá la orientación que la Filosofía Lean plantea dentro de su estructura en lo relacionado al desperdicio y el cliente.

Las actividades laborales conllevan en sí, tiempos improductivos; esos tiempos son denominados Muda o Desperdicio dentro de la Filosofía japonesa que define esta actividad como la actividad realizada por el ser humano absorbente de recursos, mas no crea valor al producto o servicio final, se caracteriza por tener actividades como el reproceso, fabricar productos no requeridos por los clientes y producir más del que se requiere, influyendo al excesivo inventario (Pons, 2014, p. 19).

Mura

Es un suceso en el que se interrumpe el flujo normal de trabajo en la tarea de un operario, el flujo de partes o máquinas para el programa de producción.

Muri

Se utiliza para referirse a tener condiciones estresantes para trabajadores y maquinas o para los procesos de trabajo.

Clasificación de los siete desperdicios

El ingeniero japonés Taiichi Ohno, conocido por diseñar el sistema de producción Toyota, clasificó según su criterio, los siete desperdicios causantes de la mayor cantidad de interrupciones del flujo dentro de la cadena de valor o dentro de la misma planta de producción. (Pons, 2014, p.20). Los siete desperdicios son:

- **Sobreproducción:** Fabricar artículos con anticipación o en una cantidad mayor que la solicitada por el cliente. La sobreproducción se considera como el causante principal de la los demás desperdicios
- **Transporte:** Desplazar trabajo en proceso entre dos puntos, incluidas las distancias cortas, incluyendo el movimiento de partes, materiales e incluso material terminado
- **Tiempo de espera:** Esperas de operarios por instrucciones, materiales para fabricar, maquinaria o clientes en espera.
- **Sobre-procesamiento o procesos inapropiados:** Utilizar herramientas y equipos incorrectos, realizar procesos no necesarios e incluso proporcionar niveles de calidad mayores a los requeridos por los clientes
- **Exceso de inventario:** Altos niveles de almacenamiento de materia prima, producto en proceso y producto terminado. No se puede utilizar el inventario para cubrir los problemas que presenta la empresa.
- **Defectos:** Re manufacturar artículos devueltos por el cliente
- **Movimientos innecesarios:** Movimientos del operario que no agregan valor al producto final o al servicio

- **Talento Humano:** Siendo este el octavo desperdicio, hace referencia a la no utilización de la inteligencia de la fuerza de trabajo y la creatividad para reducir o eliminar desperdicios. La falta de capacitación de los empleados en los siete desperdicios planteados por Taiichi Ohno, se reduce la capacidad de aportar ideas, observar oportunidades de mejora y demás.

Beneficios de la Filosofía Lean

La rápida propagación de los nuevos principios de la Filosofía Lean se ha debido a los beneficios y retribuciones dejadas por la practicidad de su aplicación, a pesar de la buena difusión de esta Filosofía y de los beneficios adquiridos por las compañías que la adoptaron, la academia no ha realizado un estudio profundo sobre esta aplicación. El sistema de producción Lean se identifica por utilizar menos material y recurso de todo, realizando la comparación con la producción en masa: el esfuerzo humano en trabajos de fábrica se divide a la mitad al igual que el espacio de fabricación, inversiones en herramientas y demás.

Otras características sustentan los beneficios en diferentes empresas en las cuales se han implementado técnicas de Lean Production, por ejemplo las compañías japonesas han duplicado las tasas de productividad en el transcurso de cinco años en donde contemporáneamente se implementan los principios Lean. Toyota que fue quien adoptó por primera vez esta Filosofía, ha avanzado constantemente en el funcionamiento de la rotación de existencias y la productividad realizando la comparación con sus competidores directos en Japón (Pons, 2014, p. 35).

Origen de Lean Construction

En 1992, el finlandés Lauri Koskela estableció las bases teóricas del nuevo sistema de producción aplicado a la construcción. El trabajo pionero de Koskela titulado “La aplicación de la nueva Filosofía de producción a la construcción” fue un hito clave en el desarrollo de una corriente de investigación sobre la aplicación del sistema de producción Toyota y la Filosofía Lean a la industria de la construcción. El término Lean Construction fue acuñado por los fundadores del

grupo Internacional de Lean Construction (IGLC). Es una nueva Filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas). Lean Construction es la aplicación en la industria de la construcción de las ideas que revolucionaron la industria de la manufactura (Lean Manufacturing) originadas en Japón en los años de 1950. Las primeras ideas de la nueva Filosofía de producción se originan en Japón en el año 1950, estas fueron aplicadas en el Sistema Toyota. (Pons, 2014, p.27).

Definición de Lean Construction.

La aplicación de los principios y herramientas del sistema Lean a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción se conoce como Lean Construction o construcción sin pérdidas. Lean Construction abarca la aplicación de los principios y herramientas Lean al proceso completo de un proyecto desde su concepción hasta su ejecución y puesta en servicio. Se entiende Lean como una Filosofía de trabajo que busca la excelencia de la empresa, por lo tanto sus principios pueden aplicarse en todas las fases de un proyecto : diseño, ingeniería, pre-comercialización, marketing y ventas, ejecución, atención al cliente, puesta en marcha y mantenimiento del edificio, administración de la empresa, logística y relación de la cadena de suministro.

Lean Construction es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto- una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras. La gestión de la producción Lean ha provocado una revolución en el diseño, suministro y montaje del sector industrial. Aplicado a la gestión de proyectos, desde su diseño hasta su entrega. Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. Lean Construction se extiende desde los objetivos de un sistema de producción ajustada- maximizar el valor y minimizar los desperdicios- hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto (Pons, 2014, p .28), como resultado:

- La edificación o infraestructura y su entrega son diseñadas juntos para mostrar y apoyar mejor los propósitos de los clientes.

- El trabajo se estructura en todo el proceso para maximizar el valor y reducir los desperdicios a nivel de ejecución de los proyectos.
- Los esfuerzos para gestionar y controlar el rendimiento están destinados a mejorar el desempeño total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costes o el aumento de la velocidad de ninguna actividad aislada.
- El control se redefine como pasar de “monitorear los resultados” a “hacer que las cosas sucedan”.
- La notificación fiable del trabajo entre especialistas en diseño, suministro y montaje o ejecución asegura que se entregue valor al cliente y se reduzcan los desperdicios, Lean Construction es especialmente útil en proyectos complejos, inciertos y de alta velocidad.

Lean Construction viene siendo reconocida ampliamente por los beneficios que aporta al desempeño de la industria de la construcción, de tal manera que su importancia ha crecido enormemente convirtiéndose en uno de los principales motivadores de mejora de la productividad para el sector (Sage et al., 2012). Así, en la búsqueda de nuevos desarrollos de investigación, en temas de gestión de la construcción, que contribuyan a mejorar la eficiencia del sector con la aplicación de LC presenta desafíos constantes que comprometen en este esfuerzo a profesionales e investigadores. La aplicación de LC ha mostrado una creciente y rápida incorporación de principios, métodos y herramientas de LP (Lean Production) sin limitarse únicamente a las tareas de producción, por el contrario ha tenido una importante difusión en las áreas relacionadas que, de manera conjunta, contribuyen con el logro del objetivo común en la entrega del proyecto al cliente final.

Para las empresas que adoptan la filosofía Lean, las personas representan un activo fundamental, la mano de obra está mejor calificada y juegan un papel importante en la mejora continua de la empresa. El personal es seleccionado de una manera más ordenada, sostenible y con visión a largo plazo lo que da como resultado una mejora en la calidad laboral y del empleado. Este sistema fortalece el trabajo en equipo, mejora las comunicaciones, se trabaja en conjunto lo que permite la detección temprana de inconvenientes ya que intervienen especialistas en todas las áreas llevando a una resolución temprana, eficaz y ágil de los problemas. La gestión integral de todo el proyecto pasa del modelo tradicional donde hay una jerarquización de mando muy marcada a un sistema colaborativo y de autoridades y responsabilidades compartidas. En el

tema contractual, el modelo tradicional es de tipo transaccional y con la filosofía Lean se tiene un tipo racional y de riesgo compartido.

Lean Project Delivery System (LPDS)

Lean Project Delivery System es un tipo de gestión de proyectos conocida como una herramienta o técnica para el desarrollo de un proyecto desde una perspectiva Lean. Se puede describir como una herramienta colaborativa durante todo el proceso o ciclo de vida de un proyecto. Al igual que el PMBOK que significa estándar para la Administración de Proyectos y cuyas siglas significan en inglés Project Management Body of Knowledge (el Compendio del Saber de la Gestión de Proyectos en español) constituyen tipos de gestión o herramientas de habilidades para desarrollar un proyecto teniendo en cuenta diferentes aspectos.

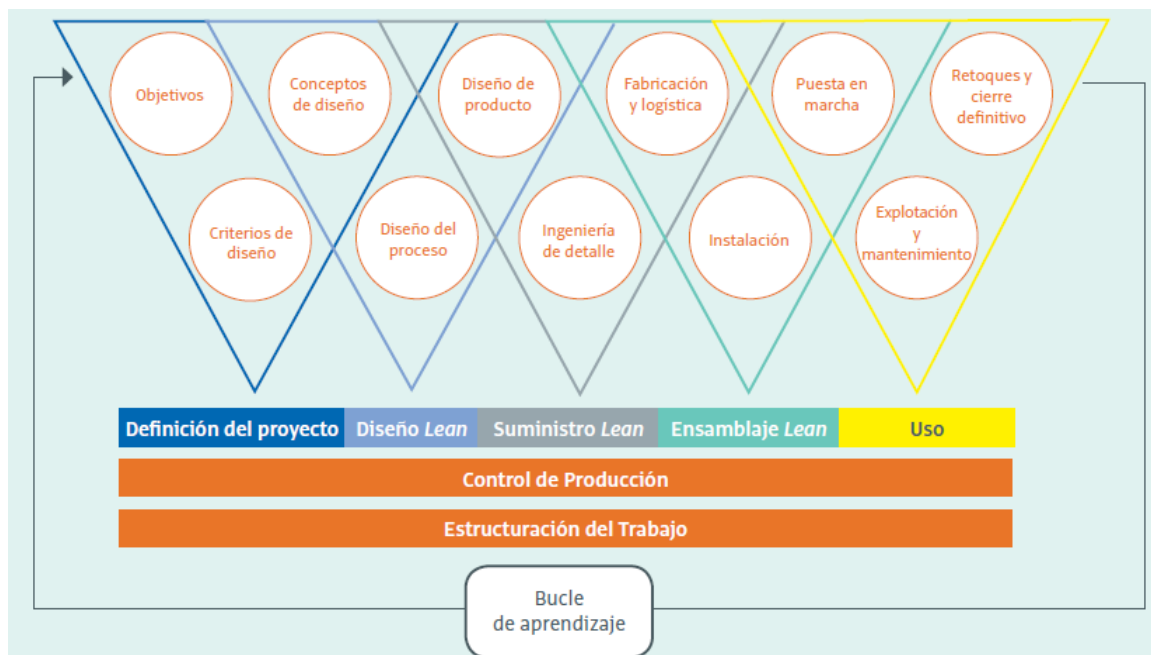
Se crea un equipo durante todo el proceso para alinear fines, recursos y restricciones, este es un enfoque por etapas, el cual comprende la definición del proyecto. Estas etapas son: diseño, suministro, montaje o ejecución, uso o mantenimiento del proyecto. El control de la producción, la estructura de trabajo y el aprendizaje es algo que es continuo en todo el proceso del proyecto ya que hay trabajo en equipo y comunicación de todos los participantes desde el inicio del proyecto.

En este caso, el propietario o cliente es quien determina el costo y alcance permitido del proyecto, la misión del equipo es entender y ofrecer el mejor valor para el cliente y eliminar las actividades que no añaden valor. Por esto se crean entre el propietario y el equipo de trabajo, unos acuerdos de gestión y ejecución de proyectos integrados con el equipo de diseño y constructor o contratista principal. En estos acuerdos también pueden incluirse otros agentes que intervienen en el proyecto lo que facilita el entendimiento y el cumplimiento de los objetivos del proyecto por parte de todos los participantes. Estos acuerdos permiten la flexibilidad entre los miembros del equipo para ofrecer mayor valor al cliente y crear un interés/riesgo compartido en el resultado del proyecto.

Dentro de la relación del LPDS con Lean Construction se puede afirmar que este ha ayudado a entender mejor la implementación de LC, ya que son herramientas integradoras que nos ofrecen una visión de conjunto de todas las fases del proyecto, desde un punto de vista Lean. (Pons, 2014, p .38).

Como se muestra en la figura 1, la gestión de la producción a través del ciclo de vida del proyecto genera control de la producción y la estructura de trabajo y la retroalimentación continua entre los procesos, proveedores y clientes hacen del proyecto un proyecto exitoso en tiempo, costos y recursos.

Fig. 1. Gestión de la producción desde el ciclo de vida de un proyecto



CAPITULO 3

ESTADO DEL ARTE

En la industria de la construcción puede notarse evidente dilatación de la introducción de la información que abarcan diferentes metodologías de gestión de producción y sistemas productivos, el mínimo cambio dentro del entorno productivo puede darse debido a los requerimientos del cliente. Hoy día, la industria de las edificaciones trabaja igual que hace medio siglo, solamente con variantes como las preferencias de clientes y cambios tecnológicos en materias primas o elementos esenciales para llevar a cabo el proceso de construcción.

Lean Construction ha sido un tema explorado por académicos y en algunas ocasiones implementado en la industria, es posible encontrar en la literatura diversos escritos centrados en Lean Construction en donde se enfatiza en las características de cada entorno evaluado y los elementos utilizados para llevar a cabo la aplicación de diversas metodologías.

Se observaron algunos aportes hechos por diferentes expertos y académicos, y la relación con los entornos y sistemas productivos, incluidos estudios hechos en Colombia. En la revisión bibliográfica se determinó información, herramientas, casos de estudio, análisis, metodologías, ventajas, beneficios y diversas variables estudiadas y aplicadas desde la Filosofía Lean Construction.

Un finlandés, (Koskela, 1992, p .58), sugiere un estudio donde se muestran los antecedentes y el desarrollo de la nueva Filosofía de producción. Se estudian las bases conceptuales de la producción tradicional y las nuevas Filosofías de producción, así como las aplicadas en la manufactura.

Botero (2003, p. 1) pretende dar a conocer las definiciones y/o aplicaciones de la Filosofía de gestión en la construcción, que pueden ser adoptados o implementados por las empresas constructoras, hallando de esta forma las pérdidas del proceso productivo, como punto de inicio en la búsqueda del mejoramiento de su desempeño.

González (2003, p. 1) estudia la problemática de la variabilidad en construcción, las principales herramientas de control y programación de proyectos, las más importantes

investigaciones sobre Buffers en construcción, y los elementos conceptuales de la Metodología para la Administración de Buffers propuesta.

Botero (2004, p. 1) presenta una guía o lineamiento para el mejoramiento de la productividad y/o rendimiento en los proyectos de construcción de vivienda, mediante el cual se pretende mejorar el desempeño aumentando la competitividad y rentabilidad de las empresas del sector. Los resultados obtenidos en los proyectos estudiados muestran la efectividad de la metodología propuesta.

Martínez, González, Da Fonseca (2009, p .1) tuvo por propósito unir las Filosofías de Construcción sustentable y Lean Construction, la última utilizada como el complemento necesario para entregar una base de análisis centrada en la gestión de producción.

En el artículo “ Barreras y factores de éxito que impactan la implementación de lean construction” (Cano, Delgado, Botero & Rubiano, 2015) sugiere el estudio de las barreras y todos los factores que directamente influyen sobre la aplicación o implementación de lean construction con el motivo de conocer estas variables, su comportamiento y por ende encontrar como mitigar la aparición de dicha barreras; el hallazgo de estas barreras junto con los factores de éxito fueron encontrados en publicaciones hechas desde los años 1998 a 2014, encontrándose de esta forma 110 barreras y 51 factores de éxito. Dentro de este trabajo se tuvo en cuenta este artículo más a fondo para dar cumplimiento al tercer objetivo específico.

En el artículo “Applying lean thinking in construction and performance improvement” (Aziz & Hafez, 2013) se plantean principios, métodos y fases de implementación de lean construction donde se muestra las ventajas de ser utilizado. Dentro del mismo artículo se resalta también todas las etapas desde que inicia un proyecto hasta su finalización y además se visualiza una metodología para evaluar procesos y definir áreas de mejora dentro de un proyecto de construcción.

Revisando el artículo “Estudio de Factores que Inciden en el Flujo de la Gestión de Ejecución de Proyectos de Construcción de Infraestructura Universitaria” (Rubiano & Cano, 2015) este se centra en estudiar la problemática asociada a la obstrucción del flujo de trabajo en proyectos de construcción. En el mismo se identifican factores críticos asociados a procesos que

condicionan los flujos de trabajo, de esta forma también se propone la eliminación de actividades que no agregan valor alguno mediante la Filosofía lean construction.

Estudiando un poco más allá la literatura relacionada con esta propuesta de investigación se encontró también un tema de igual relevancia que los anteriores, este es el punto de penetración del pedido OPP; revisando el artículo “Strategic positioning of the order penetration point” (Olhager, 2003), se muestra en este la definición, sus características y cómo influye este en determinar bajo que entorno se configura un proyecto de construcción.

Vaidyanathan y Howell (2007) presentan un marco conceptual para el desarrollo de un modelo de madurez para la cadena de suministro construcción (CSCMM) con el fin de abordar la definición de procesos, estándares y esquemas de gestión de esta cadena tomando como base modelos en cadenas de suministro de manufactura y procesos de software. Este marco conceptual proporciona directrices para llevar a cabo la excelencia operativa de manera que en conjunto, el proyecto de construcción, puede percibir los beneficios de un mejor desempeño al evaluar la empresa en el estado actual y mostrar la manera de llegar a niveles más avanzados, proporcionando así más valor para el cliente a la vez que demuestra mejores eficiencias operativas para un empresa.

Los autores plantean la ruta para la investigación futura, que consiste en llevar a cabo la validación del modelo conceptual e identificar las mejoras que deben ser integradas al modelo en sus criterios de evaluación comparativa. A su vez el modelo debe ser dinámico y cambiante. Este marco resalta la necesidad de mayor investigación para desarrollar el modelo y correlacionarlo con el desempeño del negocio según los tipos de construcción. También plantean la necesidad de realizar estudios de casos con empresas que utilice el modelo de madurez y establecer una asociación entre la CSC y los beneficios del proceso de madurez de su cadena de suministro.

Este artículo permite identificar la necesidad de contar con una herramienta para evaluar la madurez de la organización en aspectos propios de su quehacer. Se requiere por tanto un modelo que oriente la excelencia, el modelo de madurez es la referencia para el mejoramiento y evalúa cuatro niveles con enfoque en la cadena de suministro.

En el trabajo “un marco innovador para evaluar la madurez de Lean Construction” (Nesehsonhn, 2014, pag.70) se explica detalladamente el método framework . Las principales ventajas que se desprenden de la utilización de este método. Las cuales se definen en el trabajo

como: la reelaboración más precisa de ideas, la reducción de datos y la sintetización de información obtenida por parte de las entrevistas hechas.

En el artículo “Entornos y sistemas de producción en construcción- Relación con la evolución de la aplicación de Lean Construction en Colombia” (Cano et al., 2015) definen información sobre la caracterización de los entornos y sistemas productivos, esta se ve arrojada por medio de trabajo de campo que ayuda a analizar desde la práctica de Manufactura, los elementos conceptuales para caracterizar la práctica de construcción. Esta metodología parte de una exploración de las particularidades de los entornos y sistemas de producción identificados, con criterios de clasificación análogos a los de manufactura.

En el artículo “Construction: One type of Project production system” (Ballard, 2005) presenta la idea de que el concepto de “construcción” debería ser tomado como un tipo de fabricación; este a su vez propone que los proyectos son sistemas de producción dentro de una fábrica o empresa. Para el autor, la construcción es uno de los muchos tipos de proyectos para los cuales los académicos y expertos en el tema siguen buscando herramientas y teoría para el desarrollo.

En el artículo “Lean management methods for complex projects” de Ballard y Tommelein (2012) se revisan los principios, historia, aplicaciones y temas de investigación relacionados con la construcción. Con el fin de proporcionar una base para futuras investigaciones en esta área. Este artículo, describe métodos de gestión de proyectos, que ofrecen mejores resultados en proyectos complejos.

Aunque cada artículo que se consultó brindó información útil y necesaria para el desarrollo de este trabajo de grado, es importante resaltar que se tuvo en cuenta 3 trabajos principalmente, los cuales fueron “Barreras y factores de éxito que impactan la implementación de lean construction” “un marco innovador para evaluar la madurez de Lean Construction” y “Entornos y sistemas de producción en construcción- Relación con la evolución de la aplicación de Lean Construction en Colombia”. A partir de estos trabajos se consolidó la metodología a seguir para llevar a cabo cada uno de los objetivos propuestos.

CAPITULO 4

MARCO CONCEPTUAL DE INVESTIGACIÓN

La Ciencia del Diseño

Esta investigación “la ciencia del diseño” llamada también como “investigación implícita” “es un modelo de producción de conocimiento científico. El propósito de la ciencia del diseño es el desarrollo de soluciones con base científica que son capaces de resolver problemas del mundo real o de la vida cotidiana. De esta forma se establece un vínculo entre la teoría y la práctica (AlSehaimi et al., 2012)

La investigación en ciencias del diseño es considerada un enfoque para la investigación en lean construction y específicamente en la gestión de construcción. Según AlSehaimi et al., (2012) afirma que este enfoque puede ayudar en el desarrollo de nuevas técnicas o metodologías innovadoras así como abordar diferentes problemas en la gestión de la construcción.

Koskela. (2008) afirma que el reposicionamiento de gestión de la construcción como una ciencia de diseño en lugar de una ciencia explicativa puede ayudar a resolver problemas que afectan a esta disciplina. De hecho, varios estudios llevados a cabo por la Comunidad de Lean Construction como lo es el trabajo del autor Clauss Nesensohn “Un marco innovador para evaluar la madurez de Lean Construction” se pueden clasificar como investigaciones en ciencia del diseño, ya que desarrollan soluciones que apuntan a resolver problemas prácticos al tiempo que proporciona un aporte teórico.

Para el desarrollo de este trabajo de grado se adoptará la forma de investigación de la ciencia del diseño así como también se utilizarán otras herramientas investigativas como entrevistas, matrices y opiniones de expertos.

CAPITULO 5

METODOLOGÍA

El desarrollo de este trabajo de investigación se llevará a cabo en tres etapas para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos. Se realizó en primer lugar un análisis exploratorio de la bibliografía en donde se buscó caracterizar los entornos y sistemas de producción de proyectos de construcción de edificaciones en Colombia mediante una matriz-resumen realizada de acuerdo con la información obtenida por parte de las entrevistas hechas a las constructoras, direccionando este primer objetivo para llegar al segundo en el cual se buscó sugerir el marco de caracterización realizado de acuerdo a la caracterización hecha a los proyectos de construcción, y de esta forma llegar a clasificarlos según su sistema productivo y el tipo de gestión; teniendo el marco de caracterización a sugerir se llegó a la última fase de esta investigación la cual era proponer una serie de factores y sus relaciones para la aplicación exitosa de lean construction.

Es de suma importancia resaltar que la metodología a utilizar en este trabajo de grado se debe basar primordialmente en la literatura encontrada relacionada a este tema y también a la información obtenida por parte de las entrevistas realizadas a las diferentes constructoras a nivel nacional, es de parte de estas dos variables que se obtiene la información necesaria para dar cumplimiento a los tres objetivos específicos.

A continuación se detallan las tres fases que componen este trabajo de grado:

Fase I: para llevar a cabo esta etapa, se realizará una revisión bibliográfica junto con el trabajo de campo (entrevistas), de esta forma se va a seleccionar un método para el análisis de las entrevistas realizadas a las constructoras. Este se va a seleccionar de acuerdo a la literatura encontrada acerca de estos y tomando en cuenta cual sería el más adecuado para este trabajo de investigación. Se pretende sintetizar la información arrojada por las entrevistas en una matriz-resumen que se detalla en el capítulo 5; a partir de esta matriz, y la revisión bibliográfica se va a caracterizar los entornos y sistemas de producción, proponiendo un marco de caracterización a los proyectos de construcción. Cumpliendo de esta forma con el primer objetivo específico.

Fase II: durante esta fase se va a sugerir el marco realizado en la fase I, con el fin de que lo adopten las constructoras en estudio. En esta etapa, se abordará dicho marco, y se va a clasificar este, en atributos que los ajusten como sistemas productivos y su tipo de gestión.

Fase III: Por último, en esta fase se va a proponer para el marco de caracterización unos factores y sus relaciones entre sí que definan la contribución al éxito de la aplicación de LC en la gestión de proyectos de construcción.

CAPITULO 6

RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Antecedentes a la caracterización

Para el propósito de este trabajo de grado se pretende realizar la caracterización de los entornos y sistemas de producción de proyectos de construcción de edificaciones en Colombia, realizando una semejanza con los entornos y sistemas de producción en manufactura.

Para justificar el número de constructoras a las cuales se les realizó la entrevista, se desarrolló una muestra representativa descrita en este capítulo, por medio de un cálculo basado en una distribución normal, esta se llevó a cabo teniendo en cuenta la población total de constructoras colombianas que son 765 empresas, según información arrojada por la Superintendencia de Sociedades para el año 2015. (Superintendencia de Sociedades, 2015, p. 4) Para el desarrollo del tamaño de la muestra se tomaron en cuenta los valores recomendados por la literatura en cuanto al nivel de confianza, proporción esperada y el tamaño de la población obtenido, para la precisión esperada que es otra de las variables importantes dentro de este cálculo, se decidió a criterio propio tomarlo en un 10% con el fin de adecuar esta muestra a las limitaciones encontradas a la hora de realizar el trabajo de campo dado que la industria de construcción colombiana tiene un nivel bajo de documentación en los temas evaluados en este trabajo y por ello, se disminuye o limita la cantidad de información proporcionada por las empresas. Para el análisis de estas 18 constructoras se realizaron entrevistas que fueron ejecutadas por la Ingeniera Sandra Liliana Cano Moya, En la que se abordaron temas relevantes al desarrollo de esta investigación, tales como: su modelo de gestión de construcción, el entorno de la producción, el sistema de producción y la aplicación de LC; estos temas pertinentes para este trabajo de grado. Seguido de esta entrevista se consolidó la información en un matriz resumen donde se sintetizó la información arrojada por cada entrevista hecha.

Desarrollo del tamaño de la muestra

Para calcular la muestra representativa de acuerdo a la población total, se utilizó la ecuación general basada en una distribución normal. Esta se explica a continuación:

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p(1 - p)}{d^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p(1 - p)}$$

donde:

n: tamaño de la muestra necesario

N: Población

Z_{α} : valor de Z para el nivel de confianza 1,96 (95%)

p: proporción esperada

d: Precisión

Tabla 5. Calculo del tamaño de la muestra

Datos	Valor
Nivel de confianza (Z_{α})	1,96 (95%)
Tamaño de población(N)	765
Proporción esperada (p)	5%
Precisión (d)	10%

$$n = \frac{765 * 1,96^2 * 0,05(1 - 0,05)}{0,10^2 * (765 - 1) + 1,96^2 * 0,05(1 - 0,05)}$$

$$n = 17.8 \cong 18$$

De acuerdo a este soporte estadístico en donde se justifica el número de constructoras en estudio se procede a analizar la información obtenida por medio de esta muestra con el fin de dar cumplimiento a los objetivos específicos anteriormente descritos.

En los capítulos siguientes se desarrolla el proceso de caracterización como tal de los entornos y sistemas de producción, iniciando con un estudio bibliográfico y trabajo de campo para obtener la respectiva información, se muestra el modelo de la entrevista realizado a cada constructora, se consultan sobre algunos métodos para hacer uso de la información cualitativa y a partir de esto se concluye cual sería el más adecuado, resultando este, el método denominado framework, descrito posteriormente en este capítulo.

Seguido de esto, se aborda sobre este método, sus características y herramientas (cabe resaltar que para este trabajo de grado no se utilizará el método seleccionado en todas sus facetas, solo parte de este que ayude a identificar lo que se busca); A partir de esto se muestra todo el trabajo de campo realizado (mediante las entrevistas) y se consolida toda la información obtenida en una matriz, cumpliendo de esta forma con el primer objetivo específico que es caracterizar los entornos y sistemas de producción de proyectos de construcción de edificaciones en Colombia mediante revisión bibliográfica y trabajo de campo.

Análisis inicial a la revisión bibliográfica

A partir del estudio bibliográfico se conocieron metodologías y/o programas para analizar información cualitativa, estos presentan varios aspectos a destacar y sus respectivas ventajas para ser utilizados para este tipo de información.

Nvivo. Es un programa (software) con la función de analizar, ordenar y administrar datos e información de carácter cualitativo. Este tiene diversas ventajas entre ellas se pueden nombrar el fácil manejo de volúmenes grandes de información, facilita el análisis y la categorización de la misma; así como permite realizar también búsquedas simples y avanzadas y generar diferentes tipos de resultados.

Investigadores cualitativos están interesados en evaluar, interpretar y explicar fenómenos sociales. Analizan datos no estructurados o semiestructurados como entrevistas, encuestas, notas de campo, páginas web y artículos de revistas y trabajan en una variedad de sectores; desde ciencias sociales y educación hasta atención de la salud y negocios.

NVivo no favorece una metodología particular: está diseñado para facilitar técnicas cualitativas comunes para organizar, analizar y compartir datos, independientemente del método que utilice.

Tabla 6. Requerimientos mínimos para el uso de Nvivo

Requisitos mínimos	Requisitos recomendados
Procesador compatible con Pentium III de 1,2 GHz (32 bits) o procesador compatible con Pentium 4 de 1,4 GHz (64 bits)	Procesador compatible con Pentium 4 de 2 GHz o más rápido
1 GB de RAM o más	2 GB RAM o más
Resolución de pantalla de 1024 x 768	Resolución de pantalla de 1280 x 1024 o más
Microsoft Windows XP SP2 o posterior	Microsoft Windows XP SP2 o una versión posterior, o Microsoft Windows Vista SP1 o una versión posterior, Microsoft Windows 7 o Microsoft Windows 8
Aproximadamente 2 GB de espacio disponible en la unidad de disco duro (se puede necesitar espacio adicional en el disco duro para proyectos de NVivo)	Aproximadamente 4 GB de espacio disponible en la unidad de disco duro (se puede necesitar espacio adicional en el disco duro para proyectos de NVivo)

Fuente: NVIVO (s.f.)

ATLAS.TI. Desde hace mucho tiempo atrás, se viene observando este método como uno de los más usados en todo el mundo, y es el ATLAS.ti líder del mercado del software profesional QDA (Software para el análisis cualitativo de datos) este software puede procesar datos cualitativos en cualquier idioma, utilizando diferentes metodologías.

Estos métodos de análisis cualitativo son muy usados por las diferentes ventajas que ofrecen, entre ellas están las siguientes resumidas por (Creswell, 2003, p 183)

- Proporcionar un sistema de acceso de archivos de almacenamiento rápido y fácil como forma de organizar los datos concretamente.
- Apoyo a la investigación mediante la localización y búsqueda concreta de palabras o frases.
- Estos métodos ayudan al investigador a centrarse en el nivel macro.
- Otra de sus ventajas es que permite al investigador visualizar mapas y relaciones entre documentos.

El análisis mediante métodos cualitativos permite mejorar la investigación y ofrece una facilidad para codificar y recuperar los datos lo que conlleva a que el investigador esté más cerca y familiarizado con la información que recolecte para su posterior análisis. (Creswell, 2003. p 183).

FRAMEWORK. Otro método muy utilizado para el análisis de información y de datos cualitativos es el Framework o “análisis temático” por sus diversas ventajas entre las cuales se encuentran:

La reelaboración más precisa y reconsideración de ideas en el procedimiento de análisis, la reducción de datos a través de resumir y sintetizar. Este enfoque presenta un ordenamiento sistemático y ordena los datos frente a temas relevantes y temas que se desarrollan a partir de los datos. (Ritchie & Spencer, 2002, p. 24).

Selección de herramienta

Para la selección de herramienta a utilizar se tuvo en cuenta, los métodos encontrados, su metodología, su funcionamiento y sus ventajas en cuanto a análisis de información cualitativa. Para el desarrollo de esta investigación fue pertinente la selección de una herramienta que permitiera crear o diseñar un marco de caracterización para cumplir de esta forma con los objetivos específicos y llegar a cumplir con el objetivo general de este estudio. A continuación

se muestra un cuadro comparativo entre los 3 métodos seleccionados donde se visualiza cada una de sus ventajas y desventajas.

Tabla 7. Cuadro comparativo entre métodos

HERRAMIENTA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Nvivo	Fácil manejo de volúmenes grandes de información, facilita el análisis y la categorización de la misma; así como permite realizar también búsquedas simples y avanzadas y generar diferentes tipos de resultados.	El empleo mecánico de los programas informáticos puede producir un proceso de homogenización del análisis cualitativo.
ATLAS.TI	Proporcionar un sistema de acceso de archivos de almacenamiento rápido y fácil como forma de organizar los datos concretamente. Otra de sus ventajas es que permite al investigador visualizar mapas y relaciones entre documentos.	Las posibilidades de realizar cálculos numéricos con datos cualitativos que ofrecen este programa pueden suponer para algunos investigadores una invitación para cuantificar los datos, alejándolos de la riqueza del estudio cualitativo.
Framework	La reelaboración más precisa y reconsideración de ideas en el procedimiento de análisis. Ordena los datos frente a temas relevantes y subtemas que se desarrollan a partir de los datos. La ventaja más relevante encontrada fue que este método del framework había sido utilizado en un trabajo de investigación de LC a partir de este hecho se decidió adoptarlo para el desarrollo y la sintetización de la información.	La semántica de esta herramienta podría ser compleja a la hora de desarrollarla.

Fuente: Elaboración propia

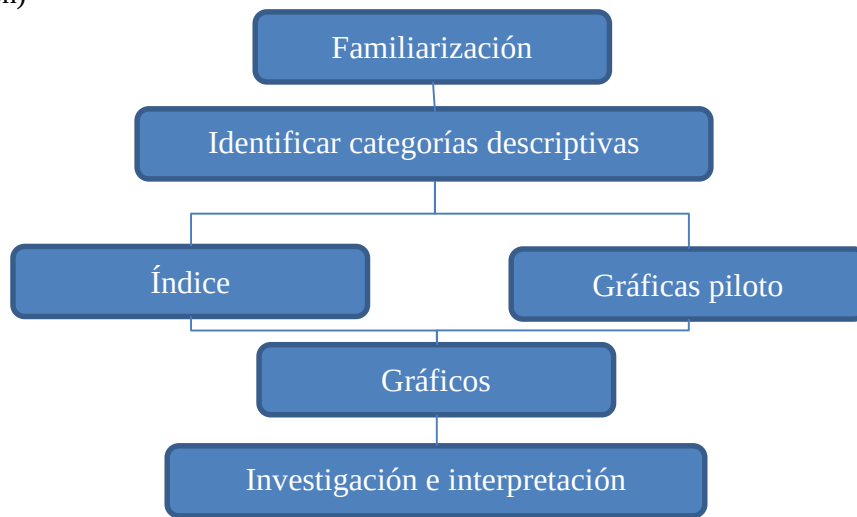
Método seleccionado

Para el cumplimiento de los objetivos planteados y de acuerdo a la revisión bibliográfica hecha, se llegó a la conclusión de escoger un método apto y adecuado para dar finalidad a cada objetivo específico de este trabajo de investigación.

De acuerdo al análisis exploratorio, y estudiando cada método de análisis cualitativo, se seleccionó el “framework” por ser este el más viable, además se escogió este método ya que se existían estudios previos donde se utilizaba en una investigación de LC; este permite consolidar y sintetizar la información obtenida de forma cualitativa con el fin de resumir en una matriz la información más importante de acuerdo a cada tema de la entrevista realizada; y de esta forma llegar a la caracterización de los entornos y sistemas de producción de los proyectos de construcción de edificaciones en Colombia.

Descripción del método. Como se dijo anteriormente el método framework es utilizado para el análisis de información que contiene datos cualitativos, este permite resumir o sintetizar la información para un mejor manejo. Para el desarrollo de este trabajo de grado se utilizará parte de este método como base para obtener la información más relevante pero no se llevaran a cabo todos los pasos que contiene el mismo debido a que solo la primera parte de este método ayuda a obtener la sintetización que se necesita para abordar los objetivos del presente trabajo. A continuación se cree pertinente explicar esta metodología de forma general.

Figura 2. Descripción del método Framework (Fuente: Un marco innovador para evaluar la madurez de Lean Construction)



Conocer es el primer paso de la estructura; como el investigador debe familiarizarse con el alcance y la diversidad de los datos recogidos. Durante este paso, no sólo está cada vez más familiarizado con el alcance y la profundidad de los datos, sino también que ha identificado el marco temático (en donde más tarde se organizan los datos) a través de reconocer y tomar notas de temas y subtemas importantes. (Ritchie & Spencer, 2002, p. 24).

Una vez que se identifica este marco temático, este debe ser probado para determinar si es adecuado y si es capaz de gestionar los datos recogidos; esto se puede hacer por indexación (codificación de los datos con el marco temático) o un piloto de gráficos (diagrama de los datos a la matriz de marco), y a partir de esto se realiza la revisión del marco si es necesario; el siguiente paso es “la creación de gráficos”. La creación de gráficos es el proceso que resume los puntos clave de los datos y ordena este resumen en una matriz. Para cada tema por lo general hay una matriz con los subtemas correspondientes. (Ritchie & Spencer, 2002, p .24).

Después de trazar los datos de acuerdo con el marco temático, los gráficos se utilizan para el último paso, “la investigación y la interpretación”; esto implica la interpretación de los datos en su conjunto con el fin de definir conceptos, mapear el alcance y la naturaleza de los fenómenos, crear tipologías, encontrar asociaciones y dar explicaciones de los hallazgos, la relación entre los temas y el significado (Ritchie & Spencer, 2002, p. 7).

Como se dijo anteriormente para el desarrollo de este trabajo de grado, en específico para la explicación del primer objetivo se utilizará solo las 2 primeras partes de esta metodología ya que son estas las que permiten sintetizar la información y organizarla en una matriz que muestre o visualice la aclaración más relevante para obtener la caracterización de los entornos y sistemas de producción de proyectos de construcción de edificaciones en Colombia.

Trabajo de campo

Para la secuencia de este trabajo de grado se utilizaron entrevistas individuales a gerentes y personal técnico y administrativo responsable de la aplicación de LC en cada una de las constructoras a las que se realizó visita.

Entrevistas

Este trabajo de grado cabe resaltar, hace parte del trabajo de doctorado de la profesora y magister Sandra Liliana Cano Moya, titulado “Modelo Sistémico de la Madurez en la Aplicación de Lean en la Gestión de Proyectos de Construcción” (Cano, 2014) la información principal para el desarrollo del presente trabajo se recoge gracias a las entrevistas realizadas a cargo de la profesora Sandra Liliana.

Para obtener la información que se requería se diseñó un modelo de entrevista. Para recolectar toda la información relevante en cuanto a los entornos y sistemas productivos como tal. Este modelo de entrevista se ejecutó a las constructoras con el fin de visualizar mediante esta, como se comportan, cuál es su modelo de negocio, cómo es su entorno y qué sistema productivo manejan.

A continuación se presenta el modelo de entrevista realizado.

Descripción del participante

La descripción del participante se obtiene de la encuesta exploratoria y se relaciona en la tabla 8, el cual junto con el código interno de identificación permite confirmar la información relacionada por el participante una vez este se encuentre respondiendo la entrevista.

Tabla 8. Descripción del participante

PROFESIÓN	EXPERIENCIA GENERAL	ANTIGÜEDAD EN LA EMPRESA	EXPERIENCIA EN LC	REPRESENTACIÓN
Ingeniero Civil				Constructor
Arquitecto				Propietario
Ingeniero Industrial				Consultor

Temas para introducir la entrevista

Esta introducción a los temas sobre los cuales tratará la entrevista permite que el entrevistado cuente con información común que facilite abordar la respuesta a las preguntas de la entrevista. El entregar el formulario de la entrevista con la debida anticipación también podría tener un efecto positivo, en el tiempo que se requiere para responder a las preguntas y en la precisión. Toda la información obtenida es debido a la entrevista y su autor la profesora Sandra Liliana cano moya.

Toda organización tiene una función, la de generar algún producto o servicio por medio de procesos. Con el fin de atender las necesidades de los clientes de manera efectiva y eficiente, las personas a cargo de la dirección de estas organizaciones deben estar en la capacidad de comprender y orientar la manera de planificar y controlar los procesos que dan origen a ese producto o servicio. Los conceptos asociados con la planificación y el control de la producción tienen su más tradicional uso en manufactura, sin embargo sus principios son aplicables a servicios y también a la industria de la construcción.

En las organizaciones de servicios su producto son servicios destinados directamente a las personas y no bienes manufacturados lo que muestra diferencias entre estos ambientes. Sin embargo, el ambiente en el que se desarrollan los proyectos de construcción cuenta también con particularidades que lo hacen especial: las unidades de producción (las cuadrillas) pasan a través del producto y no el producto a través de las unidades de producción (maquinas principalmente), producto único en su tipo, ubicación desde su inicio en el sitio de implantación final, etc.

Cuando se reconoce cual es la influencia del cliente en la organización, se establece la estrategia de la empresa y permiten configurar los ambientes o entornos de producción en los cuales la empresa se desarrolla.

- Fabricación para almacenamiento (MTS, Make to Stock): Los productos se completan según los requerimientos que el productor percibe del cliente en general y se almacenan como productos terminados. De esta manera el cliente decide su compra solo cuando el producto está terminado. Ejemplo: Construir todo un plan de vivienda y ponerlo a la venta solo cuando parte o todas las unidades de vivienda estén terminadas. Una variante corresponde a la construcción del plan de vivienda

- Armado bajo pedido (ATO, Assemble to Order): El cliente puede seleccionar entre varias opciones a partir de subarmados predefinidos. El productor “ensamblará” esas opciones para formar el producto final que desea el cliente. El cliente sólo puede hacer su selección a partir de las opciones especificadas.
- Fabricación bajo pedido (MTO, Make to Order): El cliente especifica el diseño exacto del producto o servicio final, pero su fabricación está condicionada a la utilización de materias primas y componentes estándar.
- Ingeniería bajo pedido (ETO, Engineer to Order): El cliente tiene prácticamente completo poder de decisión sobre el diseño del producto o servicio. En general, no se verá limitado a la utilización de componentes o materia prima estándar, sino que incluso podrá hacer que el productor le entregue algo diseñado “desde cero”.

Sistema de producción

Un sistema de producción es la manera en que se lleva a cabo la entrada de las materias primas (que pueden ser materiales, información, etc.) y el proceso dentro de la empresa para transformar los materiales y así obtener un producto terminado para la entrega de los mismos a los clientes o consumidores, teniendo en cuenta un control adecuado del mismo.

Se identifican ocho sistemas de producción: producción por montaje, producción por trabajos o sobre pedido (proyectos), producción por lotes, producción continua, producción para stock, Just in Time, producción por Celdas. El tipo de producción dicta el sistema organizativo, y en grado importante la distribución del equipo. Cada tipo de producción tiene características específicas y requieren condiciones diferentes para que sea eficaz su implantación y operación.

Preguntas para la entrevista

En los tres primeros temas se espera identificar elementos o factores que puedan ser considerados para la construcción del modelo. Elementos que estén relacionados con la manera

en que la organización ha previsto alcanzar sus objetivos y metas y la manera como ha integrado LC en el alcance de estos.

- **Modelos de Gestión en Construcción**

¿Cuál es el modelo de negocio en proyectos de construcción?

¿Cuál es el Modelo de Gestión de Proyectos de Construcción que la organización aplica?

Identificar en las empresas de construcción consultadas cual es el modelo de gestión de proyectos que aplican. Si no aplican un modelo de gestión específico, entender de qué manera gestionan el proyecto y si esta forma se puede enmarcar en uno de los modelos o por el contrario se establecen como un modelo propio. En la aplicación del modelo de gestión, identificar de qué manera la organización considera la aplicación de LC.

¿Puede explicar brevemente cómo lo desarrollan?

Se explica como la organización aplica el modelo de gestión. Con este detalle se puede entender las particularidades del modelo de gestión en cada organización.

¿De qué manera este modelo contribuye a la aplicación de LC?

Establecer la relación entre el modelo con que la organización gestiona los proyectos y de qué manera este modelo permite que se aplique LC. Con esta pregunta se pretende identificar la relación de la aplicación de LC y los elementos que favorecen la interacción con la organización.

- **Entorno de Producción**

¿Cuál es el entorno de Producción en el cual se desarrollan los proyectos de construcción en la organización?

El punto de partida de esta pregunta es entender que es un entorno de producción y las coincidencias entre un entorno de producción en manufactura y un entorno de producción en construcción con el fin de caracterizarlo. Las referencias bibliográficas que se han consultado a la fecha dan escasa cuenta de una identificación de los entornos de producción en construcción. Con esta búsqueda se pretende identificar de qué manera el entorno de producción de los proyectos de construcción está relacionado con la aplicación de LC.

¿Existe alguna relación en la aplicación de LC y el entorno de producción en el cual la organización se desarrolla?

Al describir cual es el entorno de producción de los proyectos de construcción, identificar si existen factores o relaciones, que favorezcan la aplicación de LC, y de existir, qué tipo son estas relaciones. Este cuestionamiento busca explorar las condiciones externas e internas de las organizaciones que podrían ser necesarias tener en cuenta para establecer correctamente los factores y relaciones que permiten la creación de valor en la gestión de proyectos en la organización.

- **Sistema de producción**

¿Cuál es el Sistema de Producción de proyectos de construcción en la organización?

Al identificar el sistema de producción de los proyectos de construcción, se busca identificar cuál de ellos es el más utilizado y describir sus características en el sector de construcción. Al caracterizar el tipo de sistemas de producción se espera identificar en ellos los elementos comunes y aquellos que propician un adecuado desarrollo del proyecto al entender la forma en que estos se llevan a cabo, así como entender cuáles son las características que permiten su utilización de acuerdo con las características del negocio.

¿Cuál es la relación en la aplicación de LC y el sistema de producción?

Establecer cuál es el tipo de relación de los sistemas de producción y la aplicación de LC.

- **Aplicación de LC**

¿Cómo se ha desarrollado la implementación de LC en su organización?

Establecer la forma en que LC se ha venido aplicando en la organización y como se lleva a cabo en la actualidad. Esto permite identificar como las organizaciones establecen la aplicación de LC y permitirá conocer si lo realizan de la misma manera o hay formas específicas para esa implementación. También identificar el compromiso de la dirección y de las personas de la organización en dicha implementación y conocer cuál es el propósito que se persigue con LC.

¿Qué barreras o problemas identifica en su organización en la aplicación de LC?

Identificar desde la experiencia en la implementación de LC en la organización cuales han sido los elementos problemáticos y establecer en ellos factores a considerar en el modelo desde la visión de las cosas que no contribuyen al éxito de la aplicación.

¿Qué elementos identifica en su organización que contribuye al éxito de la aplicación de LC?

Explorar cuales son los elementos que propician una adecuada implementación de LC y a su vez considerar más adelante la manera como estos elementos contribuyen en la creación de valor.

¿Cuáles son los elementos que usted considera que están relacionados con la aplicación de LC?

En los elementos identificados hasta ahora, se precisan aquellos que sean considerados que directamente impactan la aplicación exitosa de LC y que propicien la creación de valor.

MATRIZ

A partir de la entrevista realizada a las 18 constructoras que arrojó el resultado de la muestra estadística, se pudo obtener la información relevante para la caracterización de los entornos y sistemas productivos. Para esto se diseñó una matriz basada en el método framework donde se consolidó la información en cuanto a 4 temas que fueron: modelos de gestión en construcción, entorno de producción, sistema de producción y aplicación de LC; con la información obtenida a partir de esta matriz se pudo definir la caracterización de los entornos y sistemas productivos de proyectos de construcción en Colombia. A continuación se muestra las entrevistas realizadas con la información de acuerdo a los 4 temas mencionados. Por motivos de confidencialidad de las constructoras, no se permite dar el nombre de ellas, es por tal motivo que se asigna un código interno de identificación a cada una de ellas.

Tabla 9. Modelos de gestión en Construcción

TEMA N°1	
Modelos de Gestión en Construcción	
Subtemas/Entrevista	Modelo de negocio y gestión en proyectos de construcción y su contribución a LC
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 7	Planificación, ejecución, entrega y post entrega - Diseño arquitectónico de proyectos),ISO 9001,Gestion de calidad: Herramientas Lean Construcción sin pérdidas
*Empresa entrevistada	
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 9	Participan desde la concepción del lote, directamente en propiedad o por medio de sociedades. Realizan presupuestos, programaciones y diseños un mes antes del inicio del proyecto de construcción, ISO 9001,trayecto de comunicación con el cliente es lo más importante, detectar falencias internas de cada uno de los proyectos y generar optimización desde la obra o el proceso como tal
*Empresa entrevistada	
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 14	Participan desde la concepción del terreno hasta la entrega final al cliente. Se diseña, se planifica, se construye, se opera y se vende. ISO 9001,se comienza a planificar desde la adquisición del lote, este proceso se ejecuta en tiempos de
*Empresa entrevistada	

programación de obra y se programan todas las fases, arquitectónica, estructural, eléctrica, hidrosanitarias, detectar falencias internas de cada uno de los proyectos y generar optimización desde la obra o el proceso como tal

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 16

***Empresa entrevistada**

Adquisición de lotes-Estudio factibilidad del lote-Diseño Subcontratado (no hay diseñadores propios) Construcción y/o Interventoría (también a terceros), Gerencia, contabilidad no subcontratada, Post construcción, no se trabaja en equipo y no hay trabajo sistémico

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 18

***Empresa entrevistada**

Planificación, ejecución y entrega

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 19

***Empresa entrevistada**

ISO 9001

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 24

***Empresa entrevistada**

ISO 9001

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 17

***Empresa entrevistada**

El negocio no es tanto la construcción si no la variación del producto. La desarrolladora de zonas francas se dedica a crear proyectos dentro de las zonas francas, pero el negocio es distinto

porque puede producirle al cliente un pedido de hacer una bodega, hacer una fábrica o hacer un pedido especializado, Se tiene un sistema de gestión de calidad está debidamente certificado, aún se está organizando para alinear el sistema de gestión de calidad con lean construcción.

Lean busca la optimización por ende es muy fácil ejecutarlo en un sistema de gestión de calidad.

Esta es una empresa dedicada a construir edificaciones, nosotros a veces hacemos todo el proceso desde tener el lote hasta terminarlo, otras veces solo gerenciamos, y también estamos diseñando proyectos. Cada proyecto según el cliente se maneja diferente. El integral delivery Project, esté sistema de gestión de calidad nos da algunas directrices para manejar los proyectos, desarrollo de formatos propios y manejo de last planner

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 5

***Empresa entrevistada**

Construcción para clientes externos y el de construcción para clientes propios. ISO 9001, Este modelo ha permitido que lean se integre ya que cuenta con unos principios que se alinean en términos de compañía, porque lo que hace lean es

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 02

***Empresa entrevistada**

identificar ineficiencias para poder generar rápidamente las mejoras

4 unidades estratégicas: Vivienda, comercio industria y servicio, infraestructura y servicios públicos y por último negocio de administración de bienes raíces, ISO 9001, 14001, Estos modelos contribuyen dependiendo de la problemática que tenga el proyecto. No solo trabajamos con lean construction sino también con six sigma, prácticas de industria y construcción, last planner.

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 23

***Empresa entrevistada**

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 26

***Empresa entrevistada**

Surge por la idea de alguien que desea construir y tiene el lote para hacerlo.

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 25

***Empresa entrevistada**

ISO 9001, proyecto de principio a fin (perfectibilidad y post venta)

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 10

***Empresa entrevistada**

Nosotros hacemos todo, desde la obtención del lote ya sea con un banco de tierras propio o con un socio, se hace la concepción del proyecto, la factibilidad, la construcción, ventas y postventas. Estamos totalmente volcados a vivienda, no construimos vías ni puentes (lo hemos hecho hace algunos años) mayormente en estratos 4, 5 (80%) y 6, ocasionalmente vivienda de interés

social pero ese no es el foco del negocio. Casi siempre es construcción vertical, entre 12 y 18 pisos. No construimos para terceros.

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 30

***Empresa entrevistada**

Modelamos la topografía, la estructura y la arquitectura, nuestros profesionales no saben de planeación, pero se usa Last Planner.

Tenemos diferentes formas de manejo; proyectos propios (siempre hemos hecho proyectos propios), desde factibilidad, sala de ventas, ventas y lotes propios, sociedades, en donde compramos el lote con el socio, si él construye nosotros manejamos la parte técnica y ventas y viceversa.

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 06

***Empresa entrevistada**

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 21

***Empresa entrevistada**

Se encarga de realizar seguimiento a todo el proyecto, son constructores

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 22

***Empresa entrevistada**

Se realiza el proceso de construcción mas no el gerencial de venta y postventa

Tabla 10.Entorno de Producción

TEMA N°2	
ENTORNO DE PRODUCCIÓN	
Subtemas/entrevista	ENTORNO DE PRODUCCIÓN EN EL QUE SE DESARROLLAN LOS PROYECTOS (RELACIÓN CON LC)
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 07 *Empresa entrevistada	ATO/MTO/ETO Estos proyectos se desarrollan mediante Personalización: en estratos altos. Paquetes: Estratos medios-Mixto y diversificado.
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 09 *Empresa entrevistada	ATO, Cuando se reconoce cual es la influencia del cliente en la organización, se establece la estrategia de la empresa y permiten configurar los ambientes o entornos de producción en los cuales la empresa se desarrolla.
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 14 *Empresa entrevistada	ETO
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 16 *Empresa entrevistada	MTO/ETO/, Negación inicial de aceptación de nuevas metodologías. Objetivos con LC y LP (Lean Production) no cumplidos. Ideas y

aceptación en gerencia. Planeación con cumplimiento

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 18

***Empresa entrevistada** ETO/ MTO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 19

***Empresa entrevistada** ETO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 24

***Empresa entrevistada** MTO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 17

***Empresa entrevistada** ETO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 5

***Empresa entrevistada** ETO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 02

***Empresa entrevistada** MTO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 23

***Empresa entrevistada** MTO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 26

***Empresa entrevistada** ETO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 25

***Empresa entrevistada** MTS/MTO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 10

***Empresa entrevistada** MTO/ETO/ATO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 30

***Empresa entrevistada** MTS/MTO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 06

***Empresa entrevistada** MTO/ETO/ATO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 21

***Empresa entrevistada** MTO/ATO

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 22

***Empresa entrevistada** ATO/ETO

Tabla 11. Sistemas de Producción

TEMA N°3	
SISTEMA DE PRODUCCIÓN	
Subtemas/entrevista	Sistema de producción de la organización y su relación con LC
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 07	Just in Time, JIT. Cada quien sabe en qué momento entrar en el proceso.
*Empresa entrevistada	Mejoramiento continuo. Mano de obra propia y capacitada.
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 09	
*Empresa entrevistada	Just in Time
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 14	
*Empresa entrevistada	just in time
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 16	
*Empresa entrevistada	just in time
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 18	
*Empresa entrevistada	just in time
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 19	just in time

***Empresa entrevistada**

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 24

***Empresa entrevistada** just in time

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 17

***Empresa entrevistada** just in time

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 5

***Empresa entrevistada** just in time

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 02

***Empresa entrevistada** just in time

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 23 Tenemos un sistema que se ha venido desarrollando fruto del conocimiento de los directivos, sistema de producción llamado estructuración del negocio.

***Empresa entrevistada**

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 26

***Empresa entrevistada** just in time

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 25 Producción por trabajos o sobre pedido (proyectos)

***Empresa entrevistada**

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 10

***Empresa entrevistada**

Producción por trabajos o sobre pedido
(proyectos)

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 30

***Empresa entrevistada**

Proyectos, Pull System y Kanban

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 06

***Empresa entrevistada**

Producción por trabajos o sobre pedido
(proyectos)

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 21

***Empresa entrevistada**

Just in Time, proyectos

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 22

***Empresa entrevistada**

Producción por montaje, proyectos

Tabla 12. Aplicación de Lean Construction

TEMA No.4	
APLICACIÓN DE LC	
Subtemas/entrevista	Aplicación de LC: Desarrollo, barreras o problemas y elementos relacionados
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 07	Capacitación brindada por EAFIT, Los socios no quieren invertir en lean, Planificación. Con lista de plan de obra (Layout), SGC-Cultura de los colaboradores (Trabajadores)
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 09	La cultura y las personas constituyen elementos principales para la aplicación de LC
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 14	Filosofía y principios
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 16	EAFIT (Hace 10 años. No más renovación de conocimiento, Poca planificación, no cultura de algunos empleados
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 18	El cambio a nuevas culturas
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 19	La gente y la cultura al cambio
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 24	La cultura y las personas constituyen elementos principales para la aplicación de LC
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 17	La cultura y las personas constituyen elementos principales para la aplicación de LC
CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 5	La cultura y las personas constituyen elementos principales para la aplicación de LC

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 02

Encontramos que se podía en el mundo de la construcción realizar eficiencias. Se ha aplicado lean pero a proyectos más puntuales, no generalizado a todos los proyectos. Tema cultural y la velocidad de la construcción, el flujo de información, el liderazgo, el empoderamiento, facilitar herramientas para la captura de la información, la constancia en tomar los datos. Se genera una cultura alrededor de lean.

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 23

El tema de la rotación del personal. Los contratistas, las ganas de la gente, la cultura, la disciplina ayuda a que cualquier cambio que se dé tenga éxito dentro de la compañía.

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 26

La cultura y las personas constituyen elementos principales para la aplicación de LC

La cultura y las personas constituyen elementos principales para la aplicación de LC

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 25

N/A

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 10

N/A

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 30

No hay una estructura de LC. De Lean le decimos: “Eso no es tanto una Filosofía, es una metodología; cada herramienta es una metodología

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 06

Se toma un curso de Lean y se contrata una empresa para la implementación de Lean en uno de los proyectos (aunque ya iniciado)

CÓDIGO INTERNO DE IDENTIFICACIÓN # 21

Se capacita personal en Lean con el fin de desarrollar nuevas ideas, pero no se construye un proyecto alrededor de ello

Importancia del cliente en los proyectos de construcción

De acuerdo a las entrevistas y trabajo de campo, se evidenció que el cliente es un elemento fundamental en los proyectos de construcción en todo su ciclo de vida. Depende de estos, el rumbo que toma cada proyecto de construcción de acuerdo a sus especificaciones en cuanto a calidad y costo. Se debe tener en cuenta que no siempre el cliente puede participar en toda la línea de vida de un proyecto, por ende se dice que existen dos tipos de clientes: el cliente-inversionista y el cliente comprador. En este capítulo se abordará más sobre estos tipos de clientes y su relación con los proyectos de construcción.

Tipos de clientes

Dentro de los tipos de clientes en un proyecto de construcción se evidencian dos: el cliente inversionista y el cliente comprador.

Cliente inversionista. Este cliente es aquel que esta durante todo el ciclo de vida de un proyecto. Desde su inicio hasta su fin.

Cliente comprador. Este cliente se integra al proyecto al momento de pagar por su participación. Un poco más tarde que el cliente inversionista.

Participación del cliente y los sistemas productivos

De acuerdo a esta investigación, y bajo los resultados que se obtuvieron a partir de la misma se pudo llegar a la conclusión de que los dos tipos de clientes se manejan bajo los lineamientos ofrecidos por los diferentes sistemas productivos. De este modo se explica que el

cliente inversionista se rige bajo el sistema productivo de ingeniería bajo pedido, (ETO) mientras que el cliente comprador se rige bajo fabricación bajo pedido (MTO).

Punto de penetración del pedido

El punto de la cadena donde el producto está vinculado a un cliente específico y es un punto de interés al momento de definir la estrategia de negocio en donde se mueve la organización. (Olhager, 2003, p. 319-329).

Diferentes entornos de manufactura como make to stock (MTS), fabricación bajo almacenamiento o ingeniería bajo pedido (ETO) se relacionan con diversas posiciones de la OPP. Estos pueden ser considerados como estrategias de entrega de productos, que tienen distintas implicaciones para los objetivos de la misma.

CAPITULO 7

DESARROLLO DEL TRABAJO

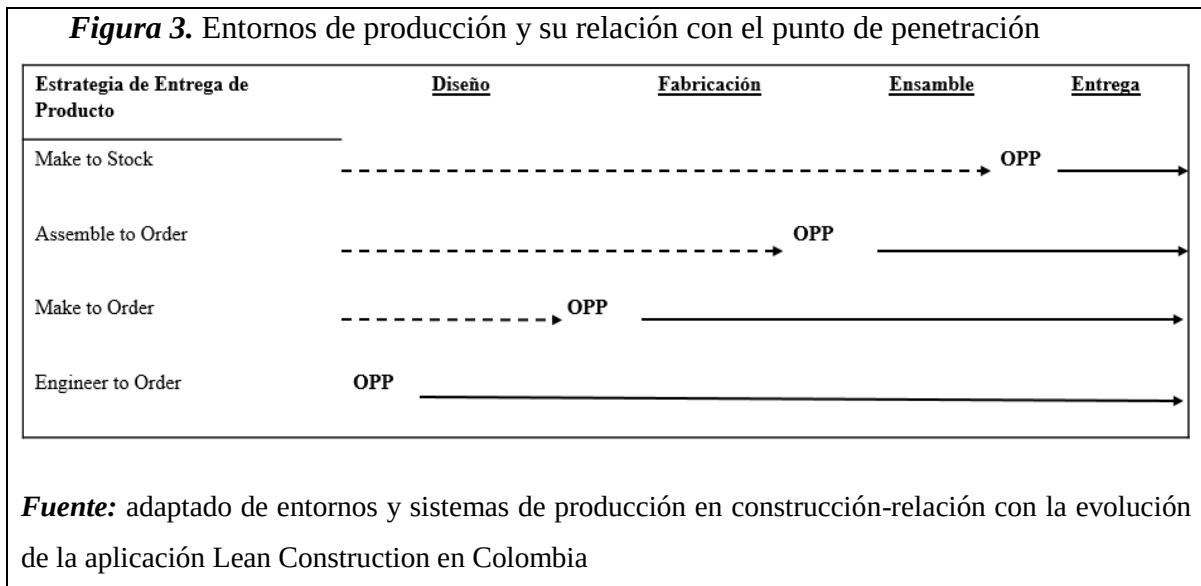
Caracterización de los entornos y sistemas de producción

A partir de las entrevistas, el trabajo de campo y la matriz realizada en el capítulo 6 se consolidó la información más relevante para llegar a los resultados o consecutivamente a la caracterización de los entornos y sistemas de producción de proyectos de construcción en Colombia. En este capítulo se abordará ambas caracterizaciones tanto de los entornos como de los sistemas de producción. Cabe resaltar que estos resultados son netamente cualitativos y son generados por la información de la investigación hecha anteriormente.

Caracterización de los entornos y su relación con el punto de penetración del pedido OPP

Con esta investigación a partir de las entrevistas realizadas y de acuerdo a la información sintetizada en la matriz hecha en el capítulo anterior por el método framework se llegó a la conclusión que es el cliente quien da los parámetros o los lineamientos bajo los cuales se establece el entorno de producción de un proyecto de construcción. Para ello se consideraron dos tipos de clientes que fueron el cliente-inversionista y el cliente-comprador. A partir de esto y si solo se tiene en cuenta la influencia del cliente-inversionista se podría decir que el proyecto se maneja o se configura bajo un entorno de producción denominado como Ingeniería bajo pedido (engineer to order) ETO, donde su OPP se ubica al inicio del proyecto es decir desde su concepción como tal. Para el caso del cliente-comprador, este aparece en una etapa más tardía que el cliente-inversionista, con la influencia de este cliente se maneja un entorno de producción de fabricación para almacenamiento (make to stock).

A continuación, en la siguiente figura, se presenta la caracterización de los entornos y su relación con el punto de penetración del pedido OPP



Se puede visualizar mediante la figura 3 la relación entre el punto de penetración OPP y los entornos de producción, se explica con esta gráfica a partir de que fase del proyecto aparece el OPP y bajo que parámetro o entorno productivo se da.

Caracterización de los sistemas de producción en proyectos de construcción

De acuerdo al trabajo de campo realizado en las entrevistas y también al análisis exploratorio de la bibliografía, se evidenció que en las constructoras a las cuales se entrevistó, cada proyecto de construcción es distinto, esto es debido a que los clientes no son los mismos, el tipo de proyecto puede variar según las especificaciones de cada cliente, su mano de obra, materiales, etc. Cada proyecto de construcción es único en su tipo, esto es debido a que se trabajan en diferentes lugares, su gestión dentro del proyecto es distinta, cadena de suministro, planificación, control y cierre de cada proyecto depende también del gerente, de todo el ente encargado de vigilar y controlar que el proyecto se cumpla a cabalidad y lo más importante que siempre lleve a cabo con las especificaciones exigidas por el cliente en cuanto a calidad y costo.

Por todos estos elementos y características se ve con complejidad el hecho de llegar a la caracterización de los sistemas productivos, entonces, en el marco de la investigación (Cano, 2014) en donde se enmarca el presente trabajo de grado, se propone caracterizar los sistemas productivos de los proyectos de construcción como un **“Flujo secuencial acompasado por la unidad de producción”**. Esta caracterización de sistema productivo, se hace particular al desarrollo de los proyectos de construcción, ya que en las etapas del proyecto, cada una de las actividades dependen de una o varias actividades predecesoras y se requiere la finalización de esta para su inicio.

Si se miran las actividades del proyecto de manera independiente, en algunas de ellas como por ejemplo: Pre-factibilidad, Anteproyecto arquitectónico, planificación, construcción, mantenimiento y entrega, se identifica que se llevan a cabo como alguno de los sistemas productivos en manufactura, cuando se trata de obtener insumos o realizar la actividad predecesora o actividad de flujo. Se identifican por tanto: flujo continuo, por lotes si es el caso; pero el proyecto como tal va a trabajar bajo la caracterización de **flujo secuencial acompasado por la unidad de producción**. De acuerdo con las entrevistas y la información sintetizada en la matriz resumen que se encuentra en el capítulo anterior se observa que la mayoría de las constructoras buscan trabajar bajo el enfoque Just in time, y su herramienta de trabajo es el Sistema Last Planer (LPS) aunque su aplicación se lleva a cabo de acuerdo a el nivel de madurez de este sistema al interior de los proyectos, pudiendo evidenciar en esta recolección de información que no se hace una completa aplicación del LPS. Es un sistema que según Taiichi Ohno se maneja también de una forma secuencial, el señor Taiichi lo describe de la siguiente forma "...al intentar aplicarlo, se pusieron de manifiesto una serie de problemas. A medida que estos se aclaraban, me indicaban la dirección del siguiente movimiento. Creo que sólo mirando hacia atrás, somos capaces de entender cómo finalmente las piezas terminaron encajando...". Es debido a los resultados arrojados por la entrevista y de acuerdo con la bibliografía consultada, que se propuso denominar el sistema productivo de los proyectos de construcción de la forma mencionada anteriormente y sustentando esta caracterización de acuerdo a que el 67% de las constructoras se rigen bajo este tipo de gestión como el just in time.

Flujo secuencial acompasado por la unidad de producción

Para el desarrollo de este concepto se tuvo en cuenta a Howell y Koskela (2000) donde afirmaban que las actividades de construcción son usualmente definidas en una secuencia lógica y controladas a través de la ruta crítica, donde se define una programación desde que inicia el proyecto hasta su finalización, medido todo por el producto final o por la unidad de producción.

Cada proyecto de construcción es único en su tipo, así como la mayor influencia en este es el cliente. Es por ello, que al hablar sobre los sistemas de producción en proyectos de construcción resulta complejo definirlos, por tal motivo se decidió llamar de forma general como un flujo secuencial debido a las actividades dentro del proyecto que se presentan en una configuración de un movimiento en serie (actividades que no pueden iniciar sin terminar la anterior) y acompasado o condicionado por la unidad de producción, donde se quiere decir que siempre será el producto final o la unidad de producción la que va a procurar el avance en el flujo del proyecto en estudio.

Marco de caracterización

En este capítulo se abordará el marco de caracterización a realizar para sugerirlo posteriormente a los proyectos de construcción de edificaciones en Colombia y clasificarlos de acuerdo a atributos que los ajusten como sistemas productivos y el tipo de gestión.

Para el desarrollo de este marco de caracterización se necesita primero abordar temas que son de importancia para llegar al objetivo principal. Estos temas son las fases por las que pasa todo el ciclo de vida de un proyecto, se encontrarán detallados en este capítulo y son de vital importancia ya que gracias a estas se va a realizar el marco de caracterización y durante estas fases se va a identificar los atributos que los ajusten como sistemas productivos y su tipo de gestión.

De acuerdo a lo anterior se va a explicar cada fase del proyecto dentro de este capítulo para tener una visión más clara, con el fin de proponer o sugerir el marco de acuerdo a estas fases y su rol dentro de un proyecto de construcción.

Fases de un proyecto de construcción

Todo proyecto para facilitar su gestión divide su ciclo de vida en fases que le ayuden a llevar a cabo el producto final. Define las fases desde que inicia hasta su fin. El estudio de estas permite al director y su equipo decidir qué tipo de gestión o herramientas van a utilizar para llevarlo a cabo, así como también les permite decidir si el proyecto es viable o no.

Dentro de un proyecto de construcción se han definido 5 fases de vital importancia según el trabajo realizado por la ingeniería Sandra Liliana Cano Moya, para llegar a la obtención del producto final. Estas fases del proyectos son las comprendidas por: Pre factibilidad, anteproyecto arquitectónico, planificación, construcción, entrega-operación-mantenimiento.

A continuación se explicará cada fase y como estas se conectan o forman una secuencia en la obtención del producto teniendo en cuenta todas las especificaciones por parte del cliente, ya sea un cliente inversionista o un cliente comprador. Se podrá observar a partir de qué punto puede aparecer un cliente dependiendo de su interés.

Pre- factibilidad

En todo proyecto antes de iniciar su realización se debe hacer un estudio de pre-factibilidad para verificar si este es viable o no. Para un proyecto de construcción se utiliza el mismo criterio. Este estudio permitirá observar todas las variables positivas y negativas de ejecutar este proyecto, sus costos, su inversión, la mano de obra a utilizar, los recursos, insumos, las ventas, etc.

Anteproyecto arquitectónico

A partir del estudio de pre-factibilidad y después de concluir que es viable se continúa con el anteproyecto arquitectónico que es la derivación de lo que se va a realizar o lo que se va a construir de acuerdo a las especificaciones de los interesados. En esta fase y como su nombre lo indica, es un anteproyecto o un borrador del proyecto en general.

Cabe resaltar que a partir del anteproyecto arquitectónico se da el inicio formal a las ventas dentro lo que es el punto de partida a toda la parte comercial del proyecto.

Planificación

En esta fase que es la planificación y de acuerdo al anteproyecto y estudio de pre-factibilidad se planifica toda la ejecución del proyecto como tal, la intervención con la que va a contar, lo relacionado con mano de obra, recursos, insumos, costos, programación, contratación, etc. Después de haber planificado cada ítem se da inicio a la construcción formal del proyecto.

Construcción

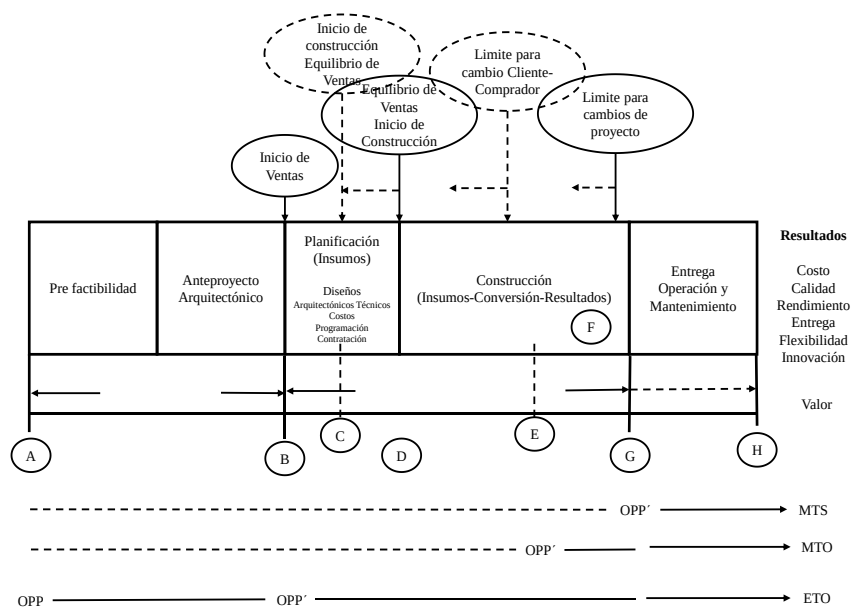
En esta fase que es la construcción es el inicio formal del proyecto, hasta antes de iniciar esta fase se podrán presentar cambios que se quieran realizar. Durante esta fase entra en juego todos los aspectos relevantes del proyecto que son su mano de obra, sus recursos e insumos.

Entrega, operación y mantenimiento

Antes de iniciar esta etapa se da el límite para haber realizado los cambios pertinentes o que se hayan decidido. Durante esta, se da la entrega del proyecto como tal, cumpliendo de esta forma con todas las especificaciones en cuanto a calidad, costo y tiempo. De acuerdo a la operación y mantenimiento son aspectos relevantes para que la obra se mantenga con las condiciones pactadas inicialmente. A partir de esta fase y en conjunto con las demás que son sus actividades predecesoras se pueden obtener como buenos resultados los costos, calidad, rendimiento, entrega, flexibilidad e innovación.

De acuerdo a estas fases del proyecto se realizó el esquema general de un proyecto de construcción explicado en la figura 4. En donde se observa cada fase, sus factores y como cada una de estas se relaciona con la otra.

Figura 4. Fases y factores de un proyecto de construcción.



Fuente: Cano (2014). A=Inicio pre-factibilidad, B=Anteproyecto arquitectónico, C=diseño de la planificación, D=Inicio de la construcción, E=Construcción, F=Resultados, G=Inicio de la entrega, H=Entrega, operación y mantenimiento.

El factor diferenciador de la industria de la construcción en comparación con la manufactura es que éste es un producto irrepetible por los diferentes factores que inciden en la construcción (terreno, condiciones, demanda, clima, etc.) y se edifica en el sitio de disposición final, sin embargo la esencia global del sistema productivo manufacturero sigue siendo el encadenamiento: Insumos-Transformación-Producto final.

En la figura 4 se muestran las fases del proyecto general de construcción, se definen unas fronteras que permiten diferenciar el hecho de que no se puede ejecutar el siguiente paso sin antes finalizar el inmediatamente anterior; esto se denomina como proceso fraccionado. Las fases definidas son la pre-factibilidad, en donde se realiza un estudio de viabilidad del proyecto, seguidamente se define el anteproyecto arquitectónico en el cual se tiene en cuenta los requerimientos del cliente comprador. Estos requerimientos se obtienen a través de estudios de mercado, resultados de postventas de proyectos culminados y sistemas de recolección de datos directos, tales como encuestas. Desde el inicio de las fases se considera el segundo tipo de cliente, como lo es el cliente inversionista, este permanece en el proyecto desde la etapa de pre factibilidad hasta la construcción e incluso en la etapa de postventa, en algunos casos.

La siguiente fase es la planificación en donde ya definido el anteproyecto arquitectónico y conociendo el deseo del cliente comprador, se pasa a programar la ejecución en tiempo, espacio, costos y disposición. Luego de realizar el plan, se pasa a la ejecución del mismo en el cual las materias primas al ser procesadas, se convierten un producto final que en esta referencia es una edificación. Seguidamente se procede a la entrega de lo requerido soportando al cliente un servicio de postventa.

Clasificación de acuerdo a atributos que los ajusten como sistemas productivos y el tipo de gestión.

Tabla 13. Clasificación de acuerdo a atributos que los clasifiquen como sistemas productivos y su tipo de gestión.

FASE	SISTEMA PRODUCTIVO
Pre-factibilidad	Producción por montaje
Anteproyecto arquitectónico	Producción montaje/ pedido
Planificación	Producción montaje/ pedido/lotas
Construcción	Producción montaje/pedido/lotas
Entrega,op.manten.	Producción por montaje

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 13, se busca definir para cada fase del proyecto el sistema productivo relacionado a este; se pretende observar de acuerdo bajo que parámetros o condiciones se puede en cada fase presentar un sistema productivo como tal.

- En la fase de la pre-factibilidad teniendo en cuenta que es donde se realiza un estudio previo para saber si el proyecto es viable o no, se consideró o se definió que para este el sistema productivo relacionado seria producción por montaje ya que este se refiere a una secuencia lineal y establecida de operaciones que se encadenan hasta conseguir el producto final, este sistema productivo tiene relación ya que se observa, que se debe tener o realizar una secuencia de todo lo que se debe hacer para la obtención del objetivo o producto final.
- La fase del anteproyecto arquitectónico se clasificó de acuerdo a producción por montaje y por pedido. Se recuerda que en esta fase se deriva lo que se va a construir o el bosquejo de lo que se va a hacer, es por ello que se relaciona con estos dos sistemas productivos ya que se debe tener una secuencia y por ende la fabricación solo se podría realizar después de haberse solicitado el pedido; esto se da cuando se tiene un anteproyecto arquitectónico.

- En la fase de la planificación y como su nombre lo indica se planifica toda la ejecución del proyecto como tal, la intervención con la que va a contar, lo relacionado con mano de obra, recursos, insumos, costos, programación, contratación, etc se presenta también producción por montaje, por pedido y por lotes. Este último sistema productivo por lotes se da cuando se elaboran una cantidad limitada de un mismo producto cada vez; en la fase de la planificación se supone que se van a construir edificaciones por lo tanto es volumen alto de construcciones es por este motivo que este sistema productivo encuentra cabida en esta ya que es muy engorroso construir unidad por unidad cuando se puede dar inicio a construir por lotes para de esta forma optimizar recursos, mano de obra, costos y tiempo.
- En la fase de la construcción se presenta también los sistemas productivos por montaje, por pedido y por lotes ya que en esta fase como se dijo anteriormente se está presentando el inicio formal de la fabricación de edificaciones o de proyectos de construcción y se necesita como tal una secuencia, construir después de haber realizado el pedido y de tener el aval y por ende construir por lotes por cuestiones de optimización de recursos.
- En la fase de entrega, operación y mantenimiento se presenta solo producción por montaje ya que es aquí en este punto donde se va a obtener el producto final, gracias a la secuencia realizada desde un inicio teniendo en cuenta todas las especificaciones y limitaciones del proyecto.

En este capítulo se quería abordar la clasificación de estas fases de acuerdo a sus atributos que los definieran como sistemas productivos y su tipo de gestión. Para el tipo de gestión de los proyectos no se puede definir uno como tal o se puede decir que no existe un modelo de gestión global para las empresas, ya que cada una de estas maneja su proyecto de construcción de acuerdo a las características y especificaciones dadas por los clientes. Por este motivo se entra a sugerir un marco de caracterización con los aspectos relevantes dentro de un proyecto de construcción y como se puede manejar para un mejor funcionamiento.

Propuesta del marco de caracterización como sugerencia a los proyectos de construcción de edificaciones en Colombia

El marco de caracterización que se va a proponer a los proyectos de construcción de edificaciones está basado en las fases del proyecto, todo su ciclo de vida, cómo se desglosa cada fase del proyecto en subtemas y como estos se relacionan entre sí para llegar al producto final.

Este marco tiene como objetivo principal visualizar los aspectos importantes dentro de un proyecto y como cada uno de estos tiene igual importancia a la hora de llevar a cabo cualquier clase de proyecto.

MARCO DE CARACTERIZACIÓN

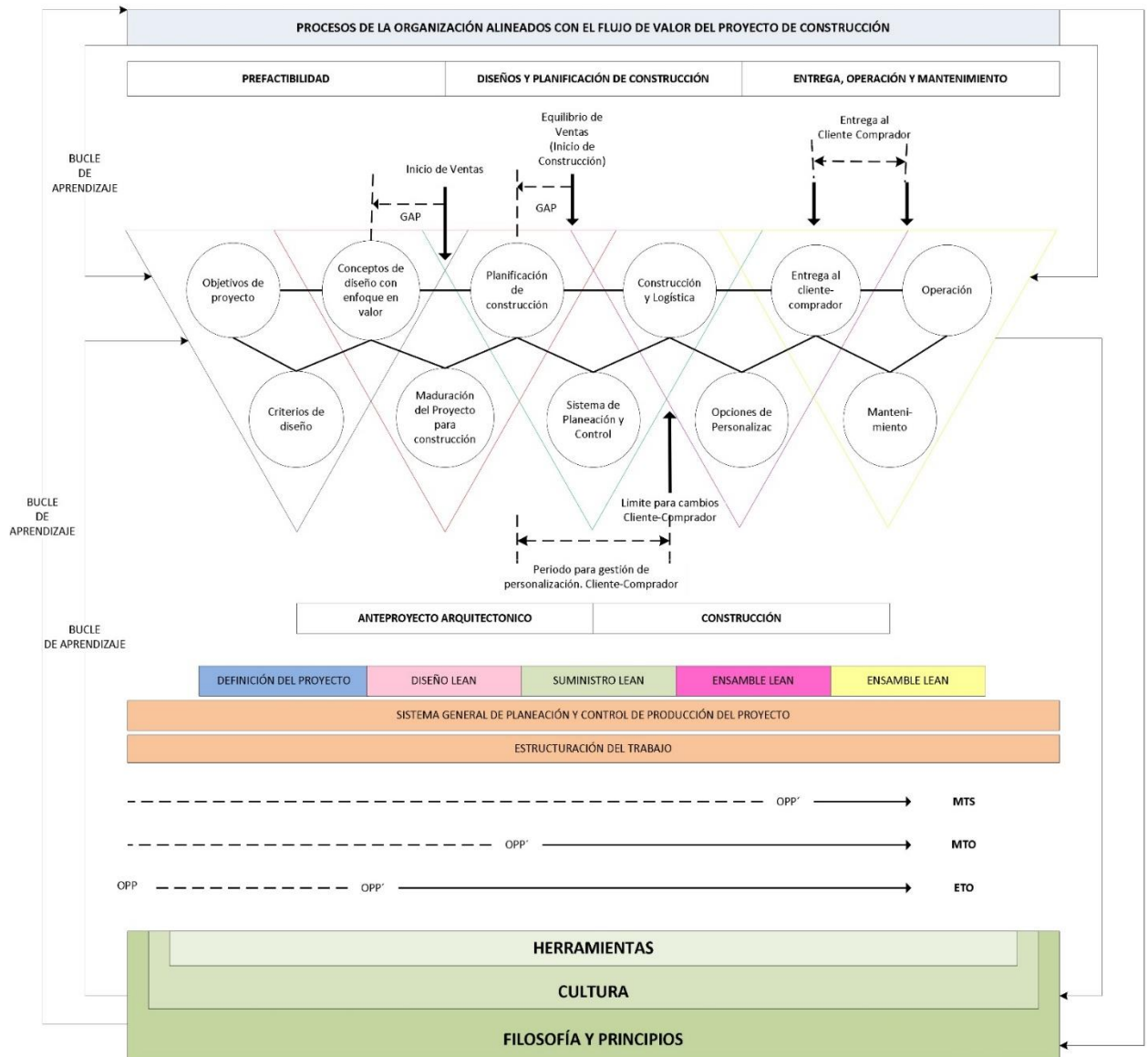
Para la realización del marco se tuvo en cuenta la relación de LC con las fases del proyecto. En la figura 5 se presenta la configuración de un proyecto y su relación con Lean construction con una mirada desde LPDS. Esta ilustración se realizó como el marco de caracterización a sugerir para los proyectos de construcción de edificaciones en Colombia (basado en Ballard, 2008) para que de esta forma los proyectos la tomaran en cuenta y posteriormente utilizaran cada paso y cada lineamiento descrito en este para un mejor funcionamiento y rendimiento en cada proyecto que realicen.

La figura 5 hace referencia a lean project delivery system que es una herramienta que ofrece una visión sobre todas las fases o el ciclo de vida de un proyecto todo esto desde el punto de vista lean. Esta herramienta fue explicada en primer lugar por Glenn Ballard en el 2008.

Lean project delivery system se puede definir como un proceso de ayuda y enfoque para el desarrollo de todo el ciclo de vida de un proyecto. Se crea un equipo de trabajo para definir fines, lineamientos, recursos y restricciones esto se denomina un enfoque por etapas que limitan el alcance del proyecto. Estas etapas del proyecto son: definición del proyecto, diseño lean, suministro lean, montaje o ejecución, uso o mantenimiento del proyecto. La estructura de este marco de caracterización se rige por la constante comunicación y trabajo en equipo, los bucles de aprendizaje que consisten en la continua ayuda de todo el equipo desde el inicio del proyecto hasta su finalidad.

Como se puede observar en el marco de caracterización toda la gestión que se produce a lo largo del ciclo de vida del proyecto consiste en una retroalimentación entre los diferentes procesos conllevando a una optimización en recursos, costos y tiempo.

Figura 5. Marco de caracterización propuesto-



Fuente: Cano (2014).

En este marco se integra la Filosofía lean en las etapas del proyecto con el fin de entender o comprender el proceso que ocurre relacionando aspectos como la Filosofía, los principios, las herramientas y la cultura. Estos aspectos son base fundamental en el desarrollo de un proyecto con influencia lean, ya que estos permiten un puente a cambiar los paradigmas que existen actualmente en el ámbito de la construcción. Estos aspectos o factores ayudan al fortalecimiento de una cultura abierta al cambio y abierta a nuevas tecnologías para la exitosa aplicación de Lean construction en las empresas constructoras.

Dentro de este marco de caracterización se puede visualizar las etapas o fases del proyecto: pre-factibilidad, anteproyecto arquitectónico, planificación, construcción, entrega, operación y mantenimiento; cada una de estas etapas tiene sus fases que constituyen el paso a paso del desarrollo de un proyecto. Estas fases son:

Objetivos del proyecto: En esta primera fase se definen los objetivos generales del proyecto.

Criterios de diseño: en esta fase se define de acuerdo a los objetivos, como se va a diseñar el proyecto y bajo qué criterios se va a hacer.

Conceptos de diseño con enfoque de valor: esta fase es muy importante ya que se añade o se da lugar al término de “valor” que lo que busca es diseñar el proyecto siempre enfocado en generar valor continuo en todos sus procesos.

Maduración del proyecto para construcción: en esta fase es cuando se define si el proyecto es lo totalmente maduro para iniciar su desarrollo o construcción.

Planificación de construcción: como se dijo anteriormente se planifica toda la ejecución del proyecto como tal, la intervención con la que va a contar, lo relacionado con mano de obra, recursos, insumos, costos, programación, contratación, etc.

Sistema de planeación y control: esta fase se relaciona con toda la planeación, el control, el seguimiento del proyecto en estudio, con el fin de garantizar su finalidad y su cumplimiento en cuanto a todas las especificaciones por el cliente.

Construcción y logística: Toda esta fase comprende el inicio formal de la construcción y la parte de logística del proyecto, tener al día siempre los insumos y recursos necesarios para el buen desempeño del proyecto.

Opciones de personalización: es cuando el cliente podría entrar a opinar sobre la personalización del proyecto o a sugerir nuevas especificaciones según su criterio.

Entrega al cliente comprador: en esta fase se hace la entrega formalmente del proyecto al cliente- comprador; en el tiempo estipulado, con el costo exigido y la calidad definida.

Mantenimiento: esta fase del proyecto se encarga de mantener o de supervisar el proyecto después de haberlo entregado, para garantizar de esta forma su buena calidad.

Todas estas fases hacen parte de las etapas del proyecto y estas en si hacen parte del marco de caracterización a proponer. En este marco se observa de igual forma toda la configuración o estructuración del trabajo, la influencia del cliente, en donde aparece y bajo que parámetros lo hace; se tiene en cuenta la influencia lean y los factores que hacen posible o viable la exitosa aplicación de Lean construction. Este marco de caracterización se propone a los proyectos de construcción de edificaciones en Colombia como un marco bajo el cual se pueden regir o alinear dependiendo de los proyectos que vayan a desarrollar, este marco permite el buen desempeño de un proyecto, propone una integración lean y podría llegar a optimizar de manera exitosa sus costos, su tiempo y sus recursos.

CAPITULO 8

FACTORES Y SUS RELACIONES EN LA APLICACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION

En este capítulo se va a proponer para el marco de caracterización, los factores y sus relaciones con el propósito de definir en estos las características que contribuyan al éxito de la aplicación de LC en la gestión de los proyectos de construcción. En el desarrollo de este trabajo de grado, en primera instancia se caracterizó los entornos y sistemas de producción, seguido de esto se sugirió un marco de caracterización para los proyectos de construcción y consecutivamente se quiere proponer estos factores con el fin de ayudar a la buena aplicación o exitosa aplicación de esta Filosofía como lo es lean construction.

Para integrar la Filosofía lean construction en una empresa es necesario en primera medida conocer todos los factores que impactan en forma positiva y negativa a la buena implementación de la misma; como factores negativos se denominan aquellos que impiden o retrasan la adaptación de lean construcción en una empresa; por el contrario los factores positivos han sido llamados de esta forma porque son aquellos que ayudan a una exitosa aplicación de este modelo gerencial.

Factores maestros de la aplicación de LC

Para la búsqueda de estos factores positivos y negativos se utilizó la revisión bibliográfica en bases de datos y libros académicos así como también la información arrojada por las entrevistas realizadas. Se tomó como referencia el trabajo de (Cano et al, 2015) en el cual propone una lista de factores para definir los factores maestros de la aplicación de lean construction, donde se clasificaron en tres grupos fundamentales que fueron: Personas, Procesos de producción y Gestión de producción y procesos logísticos.

Personas. Este factor agrupa todas las personas que están involucradas en proyectos de construcción o que participan en estos. Se encontró que dentro de la revisión bibliográfica este factor se subdividía en cuatro categorías más:

- Educación y formación: dentro de este factor se evidencia la formación insuficiente, falta de pertenencia por la Filosofía lean, lo complejo del cambio de paradigma, alto nivel de analfabetismo.
- Gerencia: como se evidencio en muchas entrevistas, la falta de liderazgo puede ser un factor negativo que impacte sobre la aplicación de lean construcción, así como también el tener habilidades insuficientes para gerencial proyectos o tener poco interés y compromiso por parte de la alta gerencia de la empresa.
- Operación: poca motivación por parte del personal de la empresa debido a que no hay incentivos o programas que ayuden a mejorar el interés hacia una cultura nueva de trabajo.
- Actitud y cultura: la resistencia al cambio puede ser uno de los mayores aspectos negativos que impactan ante una buena aplicación de LC. La falta de compromiso y actitud son aspectos que se deben trabajar para adoptar de una manera positiva el modelo gerencial.

Procesos de producción. Dentro de la literatura se encontró que bajo este aspecto se desglosaban dos categorías más:

Cadena de valor interna: son todos los procesos, fases, etapas que incluyen el control y la planeación del desarrollo de un proyecto de construcción:

- Gestión: complejos canales de comunicación entre todos los entes interesados, dentro de las entrevistas también se pudo observar que muchos gerentes al preguntar sobre su modelo de gestión en proyectos de construcción desconocían sobre cual trabajaban esto muestra una administración débil en cuanto a la realización de un proyecto de construcción.
- Planeación: en este aspecto se observa también la poca administración por parte de los interesados del proyecto, implementación de herramientas una vez empezado el proyecto.

- Control: la brecha entre los encargados del proyecto y el cliente sigue siendo ancha por lo que causa que el control sea lento y en ocasiones defectuoso.

Cadena de valor externa o macro cadena de valor: la cadena de valor externa describe todas las actividades que se necesitan para llevar a cabo el producto final, el bien o servicio desde su concepción y esto a través de todas las fases de su ciclo de vida, consecutivamente hasta la entrega al consumidor final.

Gestión de producción y procesos logísticos. Aproximadamente más de la mitad de los artículos encontrados se identificaron factores en este grupo.

Estructura organizacional: en esta se clasifican todos los aspectos relacionados con la estructura misma de la organización, los procedimientos o lineamientos requeridos para llevar a cabo cada proyecto de construcción.

- Filosofía: la ausencia de una cultura lean por parte de todas las personas que conforman la empresa es fundamental.
- Recursos: Falta de una planeación estructurada de los recursos financieros y capital humano.
- Estructura: resistencia compleja organizacional.

Cadena de suministro: la cadena de suministro incluye todas las partes interesadas directa o indirectamente para satisfacer las necesidades o requerimientos de un cliente. El objetivo de esta es maximizar el valor global generado:

- Gestión: Práctica inadecuada de la subcontratación de múltiples capas, procedimiento de control y aprobación muy largo por parte del cliente.
- Recursos: se puede evidenciar la falta de calidad en los materiales, precios inestables.
- Técnicos: uso limitado de técnicas de construcción fuera de sitio.
- Procesos y sistemas: re-procesos en obras de construcción, problemas de logística.
- Externalidades: dentro de estas se distinguen los elementos o factores que impactan el desarrollo de LC.
- Gobierno: Falta de apoyo del gobierno, inflación
- Naturaleza de la negociación en construcción: alta rotación de mano de obra, sistema ambiguo de contratos desmotivante para los operarios.

Dentro de las anteriores barreras o factores negativos para la aplicación de LC, se pretende definir los factores positivos o aspectos que ayuden a mitigar o a contrarrestar estas limitaciones.

Personas: como factores de éxito o factores positivos se sugiere tener o aplicar una formación y educación constante, basado siempre en la mejora continua, apoyo y compromiso por parte de la alta gerencia, interés por parte de los entes de la organización, cambio de pensamiento, romper con los paradigmas, apropiarse y tener sentido de pertenencia por la empresa y por las Filosofías nuevas. Disciplina, trabajo en equipo, cambio en actitud y cultura.

Procesos de producción:

- Cadena de valor interna: establecer una mejor organización dentro de la empresa en cuanto a las actividades a desarrollar, empleando siempre una comunicación abierta y clara, coordinación y cooperación.
- Cadena de valor externa: la educación como parte fundamental para la gestión de la misma.
- Gestión de producción y procesos logísticos
- Estructura organizacional: apunta a establecer metas a corto y largo plazo para el buen funcionamiento de la organización, la retroalimentación entre los departamentos encargados del proyecto es vital para una mejora en los procesos. Un adecuado manejo de los recursos para apoyar el cambio de actitud y cultura es fundamental.
- Cadena de suministro: el desarrollo de un sistema de comunicación y retroalimentación abierto es claro es clave para el éxito en la aplicación de LC. Una relación más cercana con los proveedores, y los demás entes propician una integración y un mejor desempeño.
- Externalidades: un sistema de gestión de riesgos sería importante dentro de la implementación o adaptación de LC. Que el gobierno colabore con la divulgación de políticas que ayuden o fomenten su aplicación en las empresas constructoras.

Análisis estructural y relaciones entre factores

Para completar el último objetivo específico, se realizó una matriz de análisis estructural mediante el método Mic Mac. En esta matriz se identifican en primer lugar las variables o aspectos mencionados anteriormente los cuales se van a evaluar dentro de la misma observando si existe una influencia directa o si no existe ninguna influencia.

Se han nombrado 15 variables para el estudio las cuales representan todos los aspectos a tener en cuenta para la buena aplicación de LC. Al realizar la matriz se va a evaluar la influencia de cada variable con respecto a otra, si existe una influencia se denotara como “1” y si no existe ninguna influencia se denotara como “0” al finalizar esta matriz se sumaran sus filas y sus columnas con el fin de observar la motricidad en las filas y la dependencia en las columnas. La suma de las filas nos dará como resultado sobre cuantas variables este aspecto tiene influencia directa del total que componen el sistema; por el contrario la suma de las columnas mostrara la dependencia de esta variable con respecto a las demás, es decir, el impacto directo por parte de las variables del sistema.

A continuación se muestra la matriz de análisis estructural y posteriormente sus resultados.

Tabla 14. Síntesis del estudio

FACTORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	TOTAL
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	14
2	1		1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	11
3	0	0		1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	9
4	1	1	1		1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	12
5	0	1	1	1		1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	12
6	0	1	1	1	1		1	1	0	1	1	1	1	0	1	11
7	0	0	0	0	0	0		1	0	0	0	0	1	0	1	3
8	0	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	1	13
9	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	14
10	0	1	1	0	1	1	1	1	0		1	1	1	0	1	10
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	14
12	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0		1	0	1	8
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		0	1	13
14	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0		0	2
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0		13
TOTAL	6	11	12	10	12	12	13	13	7	10	10	11	13	6	13	

Como forma de sintetizar la matriz se nombró por números las variables en estudio cada número es una de las variables estudiadas como factores que influyen en la aplicación de LC. Se nombran nuevamente para mayor entendimiento

1. Educación y formación
2. Gerencia
3. Operación
4. Actitud y cultura
5. Gestión
6. Planeación
7. Control
8. Cadena de valor externa

9. Filosofía
10. Recursos
11. Estructura
12. Técnicos
13. Procesos y sistemas
14. Gobierno
15. Naturaleza del negocio de construcción

En esta matriz se muestra como cada variable o factor interactúa con las demás, como influyen y si existe dicha influencia directa o si por el contrario no existe ninguna dependencia.

Para observar la importancia de cada variable se cree conveniente asignar rangos para conocer el significado de cada una.

0-5: Baja importancia

6-10: Media importancia

11-15: Alta importancia

Dentro de las variables en estudio se encontró que Educación y formación, Filosofía, estructura, procesos y sistemas, Naturaleza del negocio de construcción, cadena de valor externa, gerencia, actitud y cultura, gestión y planeación son las variables con más alta importancia dentro de este análisis estructural, comprobando de esta forma también la información arrojada por las entrevistas donde se evidencio que la mayor parte de los entrevistados creían que la exitosa aplicación de LC consistía en la educación, el cambio de actitud y cultura y las personas.

Estudiando las columnas se observa el impacto directo por parte de las variables del sistema con relación a una variable. En este caso se pudo observar como la primera variable educación y formación tiene una dependencia directa de 6, esto quiere decir que sufre un impacto de 6 variables del sistema total. Este es un resultado que nos indica que en este caso la educación y formación depende en su totalidad y para que se lleve a cabo de las 6 variables del sistema, podría decirse que es un resultado positivo, puesto que entre más entes dentro de la organización se preocupen por la educación de su personal mejor desempeño van a tener estos en cuanto a sus labores.

Para dar finalización a este trabajo de investigación se pudo observar y estudiar que para el marco de caracterización sugerido se establecieron los factores y sus relaciones entre sí que permitirán la contribución al éxito de la aplicación de LC en la gestión de proyectos de construcción.

Cabe resaltar que para la realización del análisis estructural se tuvo en cuenta solamente la información arrojada por las entrevistas y la literatura encontrada, en posibles estudios se podría confrontar esta información con opiniones de expertos para verificar y comparar resultados.

Evaluación de indicadores propuestos

En el capítulo 1 se propusieron unos indicadores con el fin de medir el cumplimiento de los objetivos y el proceso de investigación por medio de la literatura y el trabajo de campo, en la tabla 15 se muestran los resultados:

Tabla 15. Evaluación de indicadores propuestos

Indicadores		Calificación	Categorías de Calificación
De acuerdo al estudio bibliográfico:			
Bibliografía	Contenido bibliográfico encontrado en relación a la filosofía Lean	10	Muy satisfactorio
	Contenido bibliográfico encontrado en relación a la industria de la construcción	8	Satisfactorio
	Contenido bibliográfico encontrado en relación a la industria de la construcción en Colombia	6	Medianamente satisfactorio
	Información bibliográfica encontrada de los entornos de producción y sistemas de producción en construcción	6	Medianamente satisfactorio
De acuerdo a las entrevistas:			
Modelos de Negocio	¿Se identificaron modelos de negocio definidos en las empresas evaluadas?	4	Insatisfecho
Modelos de Gestión	¿Se identificaron modelos de Gestión de Proyectos de construcción en las organizaciones?	10	Muy satisfactorio
	¿Contribución de los modelos de gestión de los proyectos a la aplicación de LC?	5	Insatisfecho
	¿El entorno de producción de la empresa se desarrolla teniendo en cuenta a LC?	5	Insatisfecho

Entorno de Producción	¿Se identifica claramente un sistema de producción en las organizaciones?	5	Insatisfecho
Sistema de Producción	Nivel de implementación de LC en las organizaciones	5	Insatisfecho
Aplicación de LC	Barreras identificadas en la organización en la aplicación de LC	9	Muy satisfactorio
Objetivo N°1			
	Caracterización de los entornos de gestión y sistemas de producción de proyectos de construcción, mediante revisión bibliográfica y trabajo de campo	9	Muy satisfactorio
Objetivo N°2			
	Nivel de propuesta del marco de caracterización	9	Muy satisfactorio
Objetivo N°3			
	Marco de caracterización propuesto de los factores y sus relaciones que contribuyan al éxito de la aplicación de LC en la Gestión de proyectos de construcción	9	Muy satisfactorio

De acuerdo a los resultados anteriores se puede decir que en el estudio bibliográfico se encontró suficiente información sobre el tema base, tal como lo es la filosofía Lean y Lean Construction, sin embargo en Colombia se restringe la información debido a la poca aplicabilidad de esta filosofía en el país. Como resultado del trabajo de campo y en concordancia con la poca información encontrada en la literatura sobre LC en Colombia, se puede decir que fue satisfactorio el conocimiento que las empresas evaluadas tenían sobre el nivel de aplicación de LC por medio de las barreras identificadas en cada una de ellas, de igual manera fue satisfactoria la identificación de los modelos de gestión dentro de las organizaciones, sin embargo en los demás criterios evaluados en las entrevistas hubo algunas falencias en la información proporcionada al entrevistador, de allí su calificación y la calificación de los objetivos, que a pesar de encontrarse en la categoría de calificación más alta, no cuenta con el más alto puntaje.

CONCLUSIONES

Considerando el amplio análisis bibliográfico y la metodología utilizada en el desarrollo de este trabajo de grado se puede concluir que para el buen desempeño de un proyecto de construcción es relevante conocer su entorno y sistema productivo. Posterior a esto como se integra lean construction en las empresas constructoras.

El conocimiento de los entornos y sistemas productivos de los proyectos de construcción muestra cual es la mayor influencia a la hora de ejecutar un proyecto, bajo que entorno se configura y que sistema productivo. Así como los factores que ayudan a la aplicación de lean construction.

A partir de la caracterización de los entornos y sistemas de producción se pudo concluir que es el cliente quien da el entorno productivo en un proyecto de construcción, pues es este de quien depende como se configura la ejecución de un proyecto; con respecto al sistema productivo fue un poco más complejo caracterizarlo pues se observó que solo en algunas actividades dentro del proyecto de construcción se presentaba algún tipo de sistema productivo mas no se puede afirmar que se presentan todos. Al adoptar el marco de caracterización realizado en el segundo objetivo específico, las empresas constructoras podrían llegar a mejorar su desempeño, calidad, costo y tiempo en las actividades internas de su organización.

De acuerdo al último objetivo específico en donde se expusieron los factores y sus relaciones entre sí, se llegó a la conclusión de que depende de estos mismos el éxito de la buena implementación de LC en la gestión de proyectos de construcción; mediante el análisis estructural hecho en este último objetivo se pudo observar que factores tenían más importancia y también se pudo evidenciar que sus resultados coincidieron con la información generada por las entrevistas.

Se desarrolló también la medición de indicadores de control en donde se visualizó en qué nivel se cumplió cada parte de la investigación así como la evaluación de acuerdo a criterio propio del cumplimiento de los objetivos específicos; estos indicadores generaron resultados positivos en cuanto al cumplimiento de los mismos, dando como resultado una visión clara y exitosa del trabajo de investigación.

RECOMENDACIONES

Una vez finalizada la realización de este trabajo de grado se pueden definir algunas recomendaciones, tanto para las empresas constructoras entrevistadas como para los profesionales interesados en el tema de Lean Construction.

- Las empresas constructoras deberían estudiar los entornos y sistemas productivos de sus proyectos de construcción con el fin de conocer exactamente cómo va a funcionar el proyecto.
- Si las empresas deciden estudiar estos entornos, deberían adoptar el marco de caracterización sugerido para llevar a cabo la ejecución de los proyectos de construcción esto les ayudaría notablemente en los requerimientos establecidos.
- El trabajo de grado presentado pretende dejar las puertas abiertas a futuras investigaciones relacionadas al tema.
- En el último objetivo específico al abordar el análisis estructural en cuanto a las relaciones de los factores se debería confrontar con opiniones de expertos este cruce de variables y observar sus resultados en cuanto a motricidad y dependencia.

REFERENCIAS

- Aziz, R. F., & Hafez, S., M. (2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 52 (4), 679-695. Doi: 10.1016/j.aej.2013.04.008
- Ballard, G. (2005). Construction: One Type of Project Production System. In: 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (pp 29-35). Sydney, Australia. Recuperado de: <http://www.iglc.net/papers/Details/346>
- Ballard, G. (2008). The Lean Project Delivery System: An Update. *Lean Construction Journal*, 1-19. Recuperado de: http://www.leanconstruction.org/media/docs/lcj/2008/LCJ_08_001.pdf
- Ballard, G. & Tommelein, I. (2012). Lean management methods for complex projects. *Engineering Project Organization Journal*; 2(1-2), 85-96. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/254230388_Lean_management_methods_for_complex_projects. DOI: 10.1080/21573727.2011.641117
- Botero, L. F. (2003). Identificación De Pérdidas En El Proceso Productivo de la Construcción. *Revista Universidad EAFIT*, 130, 65-78. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/pdf/215/21513006.pdf>
- Cano, S. (2014). Modelo Sistémico para la Evolución de la Madurez de la Aplicación de la Filosofía Lean Construction en la Gestión de Proyectos de Construcción (Tesis de doctorado). Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Cano, S., Delgado, J., Botero, L., & Rubiano, O. (2015). Barreras y factores de éxito que impactan la implementación de Lean Construction. *SIBRAGEC ELAGEC*, 57-65. Recuperado de: http://www.infohab.org.br/sibraelagec2015/artigos/SIBRAGEC-ELAGEC_2015_submission_83.pdf
- Chapman, S. (2006). Planificación y control de Operación. España: Pearson Educación. Recuperado de: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/256597/ARCHIVOS_2015-1.1/LIBRO_planificacion-y-control-de-la-produccion-chapman-130315164550-phpapp02.pdf

- Creswell, J. (2003). Research design qualitative, quantitative and mixed methods approaches (II ed.). USA: Universidad de Nebraska
- González, V. (2003). Schedule Buffers: A Complementary Strategy to Reduce the Variability in the Processes of Construction. *Revista Ingeniería De Construcción*, 18 (2), 109-119. Recuperado de:
https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCAQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ricuc.cl%2Findex.php%2Fric%2Farticle%2Fdownload%2F242%2F42&ei=O01vVNSdJciZNoi2gPAJ&usg=AFQjCNH82wxGLL1rjzdQryi_FGMKWdo_yQ
- Granados, B. (2011). Implementación de la metodología Lean Construction para actividades de estructura del proyecto Natura del consorcio campo empresarial campestre (trabajo de pregrado). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Recuperado de:
<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5400/2/141037.pdf>
- Koskela, L. (1992). La aplicación de la nueva Filosofía de producción a la construcción. Centro de Investigación Técnica de Finlandia. Recuperado de:
<http://www.ce.berkeley.edu/~tommelein/Koskela-TR72.pdf>
- Koskela, L. (2008). An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction. Finland: Technical Research Centre of Finland.
- López, A. J. B., Cases, M. V., & Medina, M. B (2005). *Indicadores cuantitativos y cualitativos para la evaluación de la actividad investigadora: ¿complementarios? ¿Contradictorios? ¿Excluyentes?* Cuadernos IRC. Recuperado de:
http://www.uca.es/recursos/doc/Unidades/consejo_social/590987125_1032010104118.pdf
- Martínez, P., González, V., Da Fonseca, E. (2009). Integración conceptual Green-Lean en el diseño, planificación y construcción de proyectos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 24 (1), 5- 32. Recuperado de: <http://www.scielo.cl/pdf/ric/v24n1/art01.pdf>
- Nesensohn, C. (2014). An innovative framework for assessing Lean construction maturity (thesis de doctored). Inland: Liverpool John Moores University

- Nesensohn, C. & Bryde, D. (2012). Una revisión de la evolución de la construcción Lean. Recuperado de:
<http://www.linkedin.com/redir/redirect?url=http%3A%2F%2Fcc2012%2Eorg&urlhash=r gBW&trk=prof-publication-title-link>
- NVIVO (s.f.) NVIVO for Windows: Primeros pasos. QSR international. Recuperado de:
<http://download.qsrinternational.com/Document/NVivo10/NVivo10-Getting-Started-Guide-Spanish.pdf>
- Olhager, J. (2003). Strategic positioning of the order penetration point. *International Journal of Production Economics*, 85 (3), 319-329. Doi: 10.1016/S0925-5273(03)00119-1
- Pons, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction* (1 ed.). Madrid. Recuperado de:
https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&u act=8&ved=0CCMQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.fundacionlaboral.org%2Fdocum ento%2Fintroduccion-al-lean-construction&ei=irpyVIXwGYSZgwTp3oKICw&usg=AFQjCNGh0iaOVJtjtfH_ljj4sC9 TrJ69DA
- Ritchie, J. & Spencer, L. Quality data analysis for applied policy research. En M. Huberman & M. Miles (Directores), *The qualitative researchers's compassion*. USA: Sage Publications.
- Rubiano, O. & Cano, S. (2015). Modelo dinámico para evaluar el flujo de la gestión de proyectos de construcción: estudio de caso en infraestructura. *Heurística*, 17, 21-33. Recuperado de:
<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/8360/1/03-A03-p21-33.pdf>
- Vaidyanathan, K., & Howell, G. (2007). Construction supply chain maturity model – conceptual framework. IGLC. Recuperado de:
https://www.academia.edu/1339658/Construction_supply_chain_maturity_model_concep tual_framework
- Valhondo, J. (2014). *El sistema productivo*. España: Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado de: http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15014494/tr-do-mueo-2013_introduccion_20130203-4847.pdf

