



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons  
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD  
CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN  
DEL ABASTECIMIENTO**

Tesis para optar el Título de **Ingeniera Civil**, que presenta el bachiller:

**KAREM ASTHRID ULLOA ROMÁN**

ASESOR: ING. PABLO ORIHUELA ASTUPINARO

Lima, julio del 2009

## RESUMEN

Esta tesis tiene como propósito fundamental de ayudar a mejorar la gestión de la logística del abastecimiento en los aspectos de evaluación y selección de los insumos; y en el control del desempeño de los proveedores.

A partir de encuestas asistidas a empresas constructoras limeñas se demostró que dichos aspectos son importantes para las empresas; sin embargo, en la mayoría de los casos son descuidados o enfocados de manera incorrecta. Por lo tanto se plantearon metodologías que serán de mucha utilidad para las empresas constructoras.

Antes de desarrollar las propuestas se realizó una revisión bibliográfica para conocer que plantean dos metodologías de gestión de proyectos, el Lean Construction y el Project Management Institute. A partir de la revisión efectuada se concluyó que ninguna de ellas ofrece procedimientos detallados acerca de los aspectos estudiados, por lo cual las propuestas hechas por las dos metodologías de gestión fueron complementadas con otras teorías y herramientas desarrolladas por otras instituciones.

Para el mejoramiento de la evaluación y selección de insumos se propone una metodología que permite tomar decisiones basadas no sólo en costos sino en criterios cualitativos. Asimismo, se ha desarrollado un catálogo de alternativas de insumos y criterios para las partidas más incidentes del rubro de estructuras.

Para el mejoramiento del control del desempeño de los proveedores se ha planteado una metodología que permita contribuir a mejorar el desempeño de los proveedores y que proporcione información para la selección de los proveedores en futuros proyectos.

Finalmente para ambas metodologías se desarrollaron ejemplos de aplicación en casos reales para un mejor entendimiento del procedimiento que planteados para ambas metodologías.

### DEDICATORIA

*A Dios por haberme dado fortaleza y salud para cumplir mis objetivos.*

*A mi familia por todo el cariño y apoyo incondicional que siempre me han demostrado.*

*A todas aquellas personas que colaboraron, mediante sus valiosas opiniones, en el desarrollo de este proyecto.*

## ÍNDICE

Resumen	(i)
Carta de Aprobación	(ii)
Dedicatoria	(iii)

### CAPÍTULO 1

#### INTRODUCCIÓN

1.1	Planteamiento del Problema	
1.2	Objetivos	2
1.2.1	Objetivo General	4
1.2.2	Objetivos Específicos	4
1.3	Estructura del Trabajo	4

### CAPÍTULO 2

#### DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

2.1	Metodología Empleada	7
2.1.1	Objetivo	7
2.1.2	Tamaño de la Muestra y Periodo de Levantamiento	8
2.1.3	Procedimiento Empleado	8
2.2	Análisis e Interpretación de Resultados	9
2.2.1	Selección de Insumos	10
2.2.2	Evaluación del Desempeño de los Proveedores en Obra	13
2.3	Conclusiones Generales	15

### CAPÍTULO 3

#### MARCO TEÓRICO

3.1	La Logística y su Evolución	17
-----	-----------------------------	----

3.2	La Logística en la Construcción	19
3.3	La Gestión de la Cadena del Abastecimiento	20
3.4	Enfoques Generalmente Aceptados sobre la Logística	21
3.4.1	Lean Construction (Construcción Lean)	22
3.4.1.1	Lean Production (Producción Lean)	22
3.4.1.2	Lean Construction Institute (Instituto de la Construcción Lean)	25
3.4.1.3	Lean Supply (Abastecimiento Lean)	30
3.4.2	Project Management Institute (PMI)	33
3.4.2.1	Gestiones de las Adquisiciones del Proyecto	36
3.5	Comentarios	40

## CAPÍTULO 4

### TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS PROPUESTAS

4.1	Evaluación y Selección de Insumos	43
4.1.1	Tipos de Insumos en la Construcción	43
4.1.1.1	Materiales	44
4.1.1.2	Mano de Obra	45
4.1.1.3	Equipos y Herramientas	45
4.1.2	Tipos de Decisiones para el Abastec. en la Construcción	46
4.1.2.1	Decisión de Fabricación o Compra de Materiales	47
4.1.2.2	Decisión de Emplear Mano de Obra Propia o Subcont.	48
4.1.2.3	Decisión de Alquilar o Comprar Equipos	48
4.1.3	Momentos para Selección de Insumos en la Construcción	49
4.1.3.1	Decisiones para la Selección de Insumos antes del Diseño	50
4.1.3.2	Decisiones para la Selección de Insumos durante la Planificación	52
4.1.3.3	Decisiones para la Selección de Insumos durante la Construcción	53
4.1.4	Teoría de Decisiones	53
4.1.5	Metodología para la Evaluación y Selección de Insumos	56
4.1.5.1	Buscar Alternativas	57
4.1.5.2	Evaluación Cuantitativa	66
4.1.5.3	Evaluación Cualitativa	67

4.1.5.4	Evaluación Integral	78
4.1.6	Ejemplos de Aplicación	79
4.1.6.1	Análisis de Decisión sobre un Sistema de Encofrado	79
4.1.6.2	Análisis de Decisión sobre la Forma de Trabajo del Acero	84
4.2	Evaluación del Desempeño de los Proveedores	87
4.2.1	Metodología para Evaluación del Desempeño	88
4.2.1.1	Definir Criterios	88
4.2.1.2	Obtención de la Información	89
4.2.1.3	Ponderar Criterios	89
4.2.1.4	Definir el Grado de Desempeño	90
4.2.1.5	Evaluar el Desempeño	90
4.2.2	Ejemplo de Aplicación	92
<b>CAPÍTULO 5</b>		
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>96</b>
Bibliografía		99

# CAPÍTULO 1

## Introducción



## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las condiciones del mercado actualmente ocasionan una elevada competencia en el sector construcción por lo que las empresas están buscando reducir sus costos para ofrecer un mejor precio de venta con la calidad exigida por el cliente.

La disminución de los costos se obtiene mediante la eficacia de los procesos constructivos; eficiencia en el proceso de adquisiciones; distribución y manejo de los insumos en obra; etc., lo cual se puede lograr con una logística eficiente (Revista Logistec, edición N°31).

A la explicación anterior, se debe añadir que la eficacia de los procesos constructivos y la eficiencia de la logística dependen de una adecuada definición en el diseño y planificación, debido a que muchos problemas durante ejecución de la obra se generan por errores u omisiones en estas etapas. No se diseña pensando en cómo se hará el proceso constructivo o no se definen exactamente los tipos de insumos a usar por lo que se tienen que hacer cambios durante la obra.

A parte de los problemas mencionados, la logística de muchas de las empresas está plagada de prácticas erróneas, entre las que se puede mencionar:

- Selección de insumos en base al menor precio dejando de lado criterios cualitativos que pueden afectar la decisión final.
- Información no es transmitida como debería ser, la información generalmente es un “estimado” en vez de ser una ciencia exacta.
- Falta de un control del desempeño de los proveedores en obra.
- Falta de confianza y compromiso entre los proveedores y constructores que generan una fragmentación en la cadena de abastecimiento impidiendo que se puedan formar alianzas que generen mejores beneficios para ambos.

Estas prácticas erróneas así como la falta de definición en el diseño y planificación generan consecuencias en la construcción tal como lo señala Strategic Forum en su informe del 2005:

- Costos innecesarios: se generan costos adicionales debido a cambios de insumos durante la construcción y a las esperas de los trabajadores por la llegada a destiempo de los insumos.
- Pobre calidad: muchas veces la selección en base al menor costo conduce a que los subcontratistas no cumplan con los niveles de calidad requeridos por la empresa. Inclusive algunos productos, elegidos bajo esta consigna, pueden ocasionar fallas posteriores en la edificación y la disconformidad de los clientes.
- Incremento en el tiempo de entrega del proyecto: incumplimiento de los proveedores con las fechas pactadas.

Un medio para que la empresa logre ventajas competitivas es mediante la mejora del proceso logístico. Por este motivo, esta tesis trabaja sobre dos de las prácticas erróneas que se consideran más relevantes: la selección de los insumos basándose únicamente en el menor precio y la falta de un sistema adecuado control del desempeño de los proveedores.

La evaluación y selección de los insumos es una de las actividades logísticas más importantes porque mediante ésta se definen los materiales, mano de obra y equipos que afectarán el costo, tiempo y alcance del proyecto; por lo tanto es vital que el proceso de evaluación y selección se haga de manera adecuada. Además es importante, que este proceso se haga tanto en el diseño como en la planificación de tal manera que se minimicen las decisiones de última hora durante la construcción.

El control del desempeño de los proveedores es otra de las actividades importantes ya que nos ayuda a medir si el proveedor está cumpliendo con los parámetros esperados (costo, tiempo y alcance). Asimismo, nos ayuda a determinar que proveedores son los más confiables para establecer alianzas estratégicas con miras a mejorar el desempeño de la cadena de abastecimiento.

La presente tesis se enfocará en el análisis de estos dos aspectos para lo cual se revisarán los conceptos propuestos en los enfoques tales como el Project Management Institute (PMI) y Lean Construction. A partir de esto se propondrán técnicas y herramientas que ayuden a corregir prácticas erróneas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Proponer técnicas y herramientas que pueden ayudar a mejorar la gestión logística del abastecimiento en dos aspectos:
  - Evaluar y seleccionar insumos con la finalidad de definirlos exactamente antes de la etapa de construcción, mediante un adecuado procedimiento en la toma de decisiones.
  - Controlar el desempeño de los proveedores de tal manera que se apunte al mejoramiento continuo y al uso de la información obtenida para posteriores procesos de evaluación

### 1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Explicar los términos de gestión de la cadena de abastecimiento y logística, así como su aplicación en la industria de la construcción. Asimismo, dar a conocer el enfoque que le da el Lean Construction y el PMI al tema logístico.
- Hacer un diagnóstico, a partir de entrevistas y encuestas, para determinar cómo se realizan la selección de los insumos y el control del desempeño de los proveedores en empresas constructoras de Lima.
- Plantear herramientas y técnicas que contribuyan a mejorar la gestión del abastecimiento en las empresas constructoras.

## 1.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

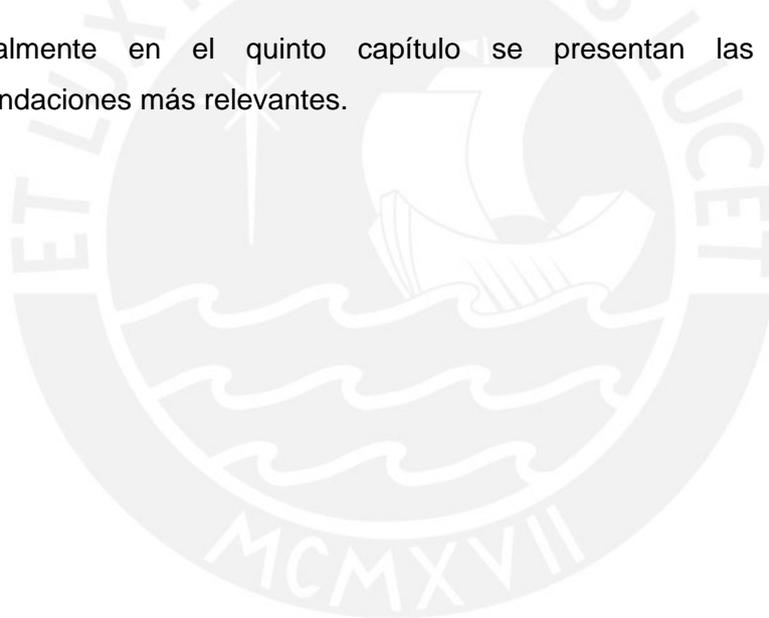
La presente tesis está organizada en cinco capítulos. El primero, que corresponde a la introducción, presenta el planteamiento del problema y los objetivos que se pretenden alcanzar.

El segundo capítulo consiste en un diagnóstico para conocer cómo se realizan la selección de insumos y el control del desempeño de proveedores, para lo cual se realizaron encuestas asistidas.

La tercera parte consiste en un marco teórico que presenta el concepto de logística y la gestión de la cadena del abastecimiento (Supply Chain Management) en la industria de la construcción. Asimismo, se realizó un estudio de los lineamientos básicos del Lean Construction y el Project Management Institute en su guía del PMBOK en relación con la logística.

La cuarta parte corresponde se proporcionan las técnicas y herramientas orientadas a la selección de los insumos y evaluación del desempeño de los proveedores. Para un mejor entendimiento se plantearán ejemplos de aplicación.

Finalmente en el quinto capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones más relevantes.



# CAPÍTULO 2

## Diagnóstico de la Situación Actual

## DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La estadística es una ciencia matemática que ayuda a la recolección, descripción, visualización y resumen de datos a partir de un fenómeno de estudio. Una vez que los datos están ordenados se pueden analizar e interpretar con la finalidad de conocer las características del fenómeno o situación estudiada.

Por lo tanto, se han usado las herramientas estadísticas para analizar el comportamiento de las empresas constructoras en dos aspectos de la gestión del abastecimiento:

- Evaluación y selección de insumos.
- Control del desempeño de los proveedores en obra.

La información obtenida sirvió para obtener lineamientos generales para el planteamiento de las herramientas y técnicas propuestas en el Capítulo 4.

### 2.1 METODOLOGÍA EMPLEADA

Se realizaron encuestas asistidas a empresas constructoras limeñas seleccionadas de manera aleatoria. A continuación se detallan las características de la encuesta:

#### 2.1.1 OBJETIVO

Obtener información que permita conocer el comportamiento o enfoque de las empresas constructoras limeñas acerca de los aspectos relacionados con la evaluación y selección de insumos; y control del desempeño de los proveedores en obra.

### 2.1.2 TAMAÑO DE LA MUESTRA Y PERIODO DE LEVANTAMIENTO

Se encuestaron a representantes de 30 empresas constructoras limeñas entre los meses de Marzo y Abril del 2009. A continuación se presenta un gráfico con la distribución de las empresas por tamaño<sup>1 2</sup>:

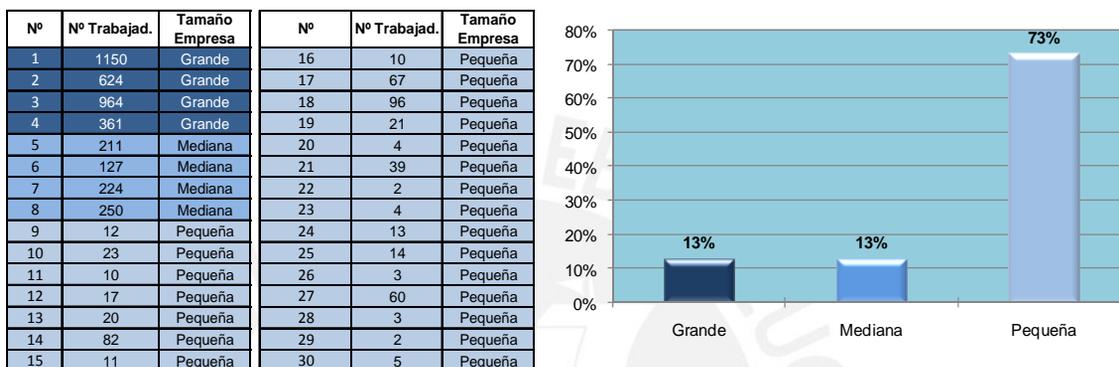


Figura 1. Distribución de empresas encuestadas por tamaño (Fuente Propia)

De acuerdo a la tabla presentada se puede observar que la mayor parte de las empresas encuestadas son pequeñas y que sólo el 26% corresponde a empresas grandes y medianas.

### 2.1.3 PROCEDIMIENTO EMPLEADO

Encuestas asistidas conformadas por 7 preguntas que abarcaban los temas de selección de insumos y la evaluación del desempeño de los proveedores.

<sup>1</sup> Las empresas se han clasificado de acuerdo a la Ley N°28015 de la MYPES (2008) usando el criterio de número de trabajadores (pequeña empresa hasta 100 trabajadores). Para el caso de la mediana y gran empresa el límite de trabajadores no está normado por lo cual se ha usado la clasificación de Unión Europea (mediana hasta 250 trabajadores y grande más de 250).

<sup>2</sup> Los datos del número de trabajadores han sido obtenidos de la SUNAT.

N° \_\_\_\_\_  
Fecha \_\_\_\_\_

**DATOS GENERALES**

Nombre de la empresa \_\_\_\_\_

Área de la empresa    Residencial     Comercial     Otros

**SELECCIÓN DE INSUMOS**

¿En qué etapa selecciona los insumos que se usarán durante la construcción? Se puede marcar más de una alternativa

Diseño     Presupuesto     Construcción

¿En base a que tipo de criterios selecciona los insumos?  
Se puede marcar más de una alternativa

Costos     Costos y Criterios cualitativos

¿Tienen una metodología formal para evaluar y seleccionar los insumos?

Sí     No

Explique qué metodología emplea

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**EVALUACIÓN DESEMPEÑO DE PROVEEDORES EN OBRA**

¿Evalúa el desempeño de los proveedores?

Sí     No

¿Qué metodología se emplea para evaluar a los proveedores?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

¿Para qué se emplea la información obtenida de la evaluación?

Control del cumplimiento del contrato

Retroalimentación para selección en futuros proyectos

Todas las anteriores

Figura 2. Encuesta realizada a empresas constructoras limeñas (Fuente Propia)

## 2.2 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 2.2.1 SELECCIÓN DE INSUMOS

#### A. ¿En qué etapa selecciona los insumos que se usarán durante la construcción?

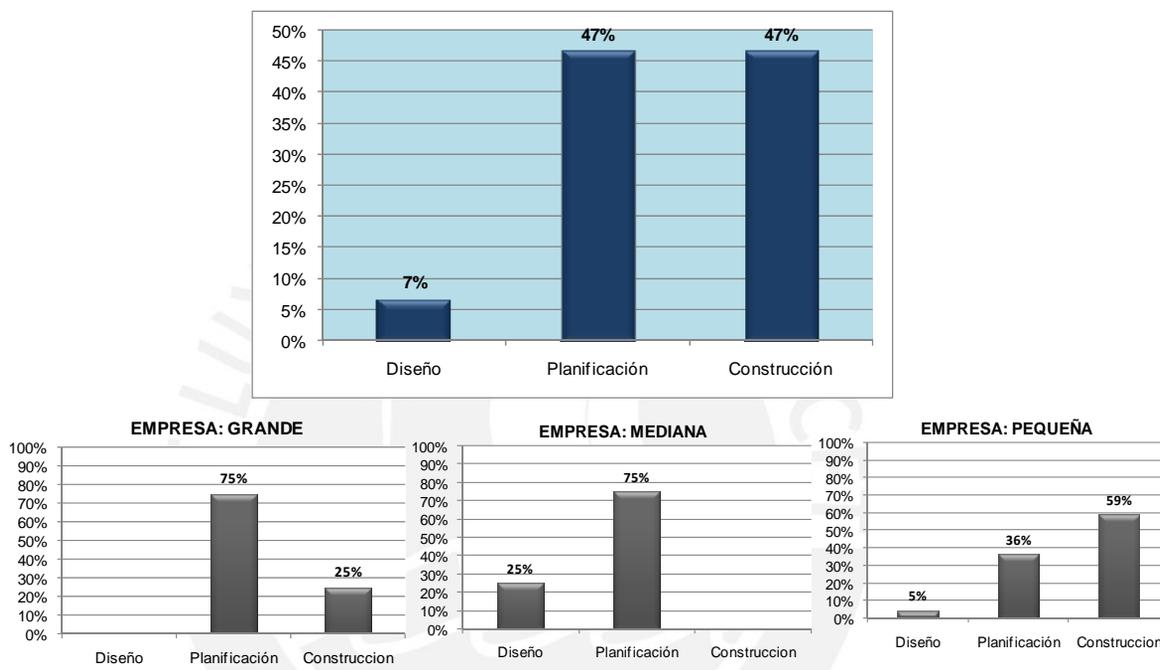


Figura 3. Etapas para la selección de insumos (Fuente Propia)

Como se observa del total de empresas constructoras encuestadas el 53% respondió que hacen la selección durante la etapa de construcción, el 40% durante la planificación (presupuesto) y el 7% durante el diseño. Asimismo, a pesar que la muestra de empresas grandes y medianas es pequeña, se puede inferir que la mayoría de éstas hacen la selección durante la etapa de planificación; y que las empresas pequeñas toman sus decisiones durante la etapa de construcción. A partir de estos resultados se puede inferir que la mayoría de los encuestados dejan las selecciones de insumos para el último momento, es decir son transferidas a los constructores, lo cual muchas veces genera retrabajos y mayores costos

#### B. ¿En base a qué criterios selecciona los insumos?

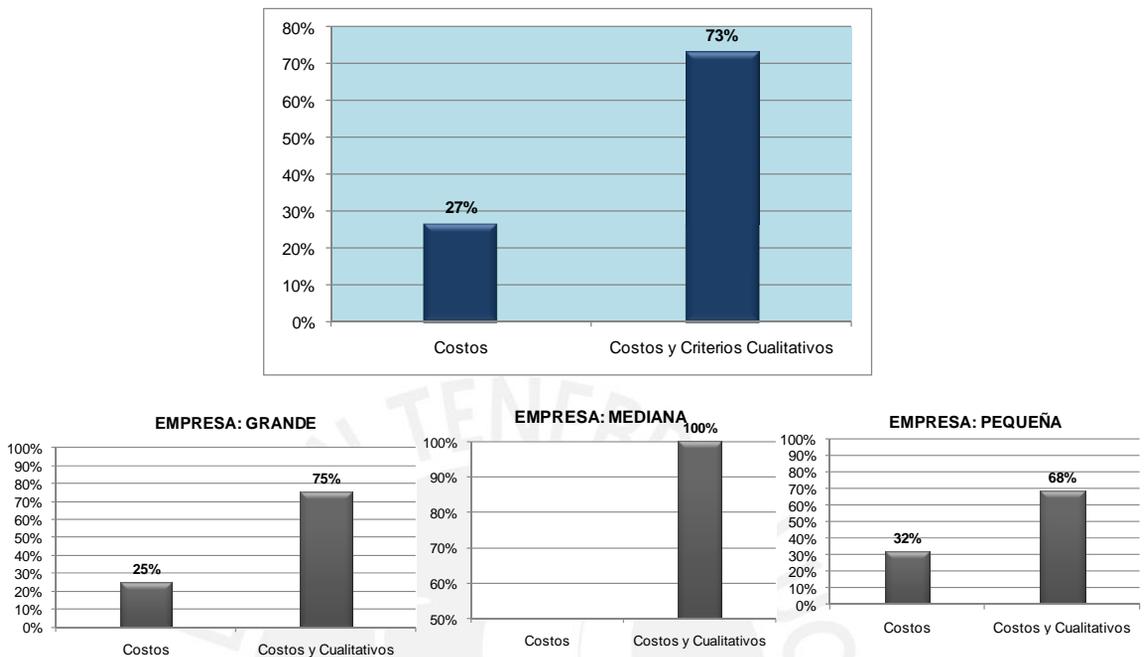
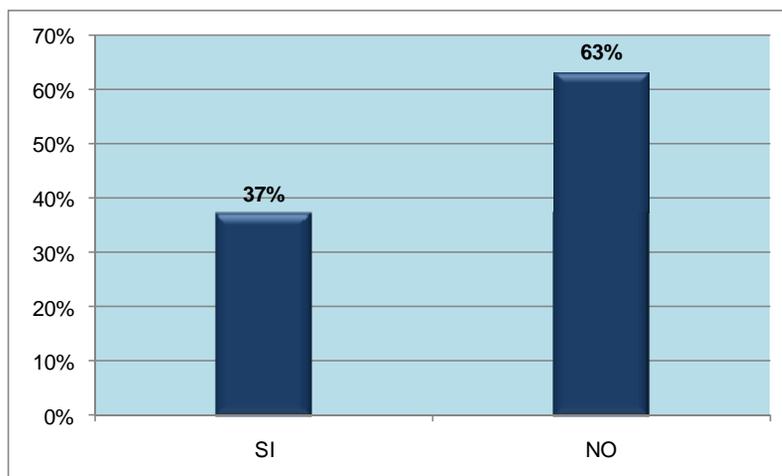


Figura 4. Criterios usados para la selección de insumos (Fuente Propia)

El 73% señala que emplean tanto los costos como criterios cualitativos en la selección de los insumos y el 27% indica que sólo se fijan en los costos; esta tendencia se corrobora cuando se presentan las respuestas por tamaño de empresa. Por lo tanto se puede señalar que la mayoría de las empresas reconocen que es importante evaluar sus alternativas de insumos no sólo haciendo análisis de costos sino usando otro de tipo de criterios que no son monetarios.

**C. ¿Tiene una metodología formal para evaluar y seleccionar los insumos?**



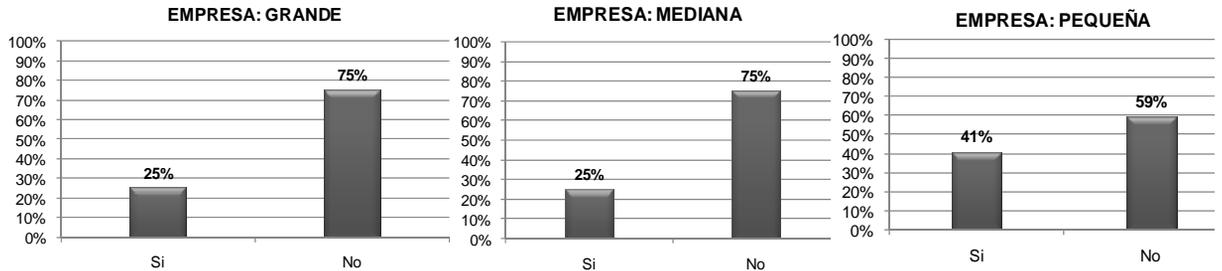


Figura 5. Uso de una metodología formal en la evaluación y selección de los insumos (Fuente Propia)

Los resultados muestran que el 63% de las empresas no cuentan con una metodología de evaluación y el 37% señala que si cuentan con una; asimismo se puede observar que la mayoría de las empresas grandes y medianas no cuentan con una metodología, en cambio las empresas pequeñas casi la mitad señala que si tiene una metodología. Como conclusión general se puede señalar la mayoría de las empresas constructoras no poseen un procedimiento formal que les ayude evaluar las alternativas considerando tanto criterios cuantitativos como cualitativos.

**D. Explique qué metodología emplea**

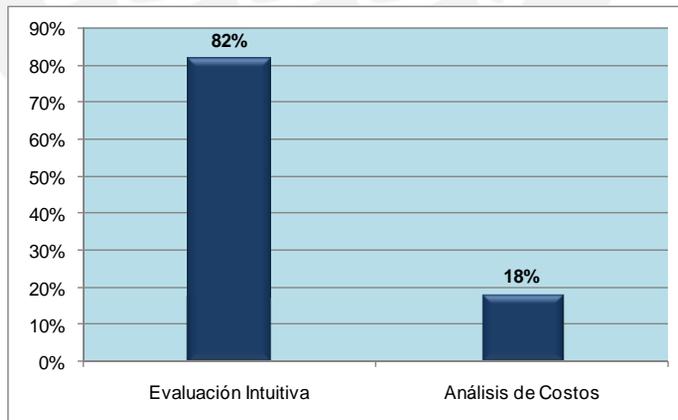


Figura 6. Metodologías empleadas para la evaluación y selección de insumos (Fuente Propia)

A las empresas que respondieron en la pregunta anterior que sí empleaban un procedimiento o metodología se les pidió que explicaran en qué consistía. Como se puede apreciar en el cuadro, el 82% indica que usan una evaluación intuitiva, es decir si bien toman en cuenta costos y otro tipo de criterios, al final toman sus decisiones en base a “sentimientos”. Esta tendencia se ve reflejada en las respuestas de las empresas por tamaño.

### 2.2.2 EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PROVEEDORES EN OBRA

#### A. ¿Evalúa el desempeño de sus proveedores?

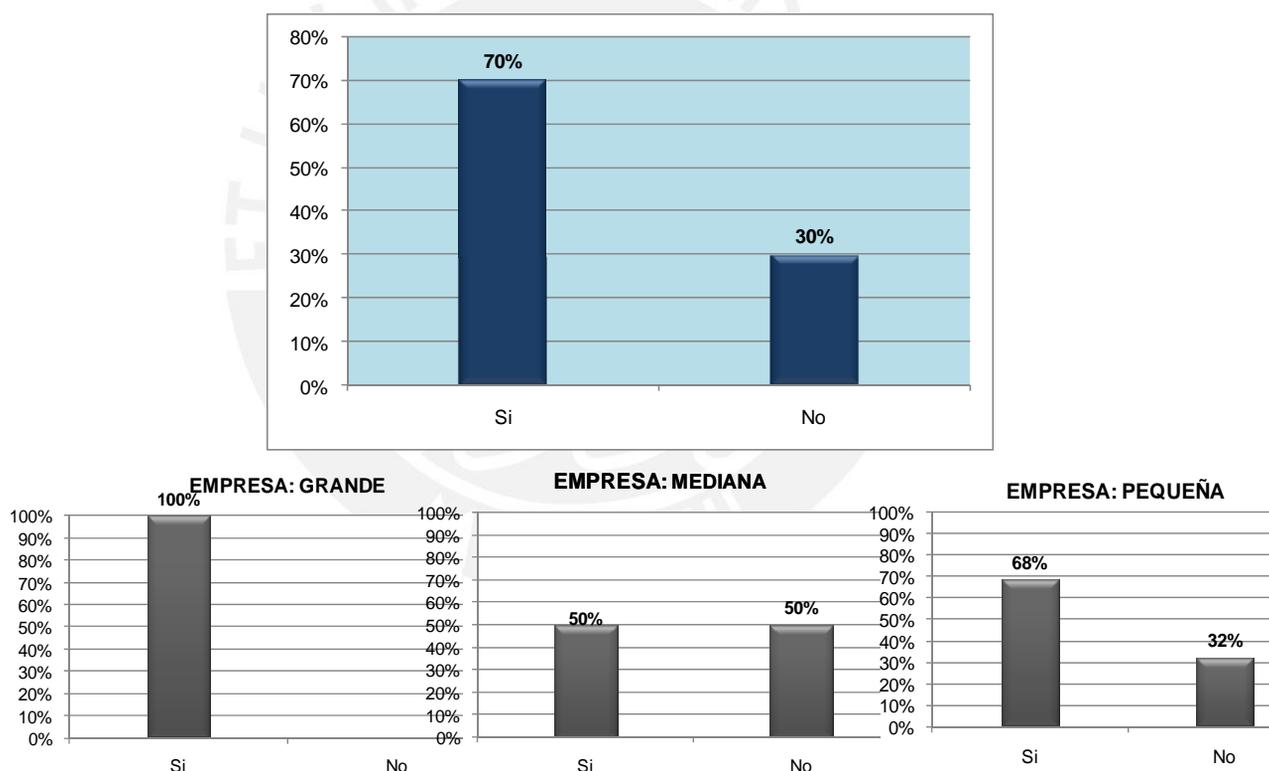


Figura 7. Evaluación de los proveedores durante le construcción (Fuente Propia)

El 70% de los encuestados señala que si realizan una evaluación de sus proveedores durante la obra y el 30% indica que no lo hace. Esta tendencia se ve reflejada en las empresas grandes y pequeñas mas no en las empresas medianas donde el 50% indica que no evalúa a sus proveedores. Estos resultados nos permiten

concluir que para la mayoría de las empresas constructoras es importante realizar un control de los proveedores.

**B. ¿Qué metodología empleada para evaluar a los proveedores?**

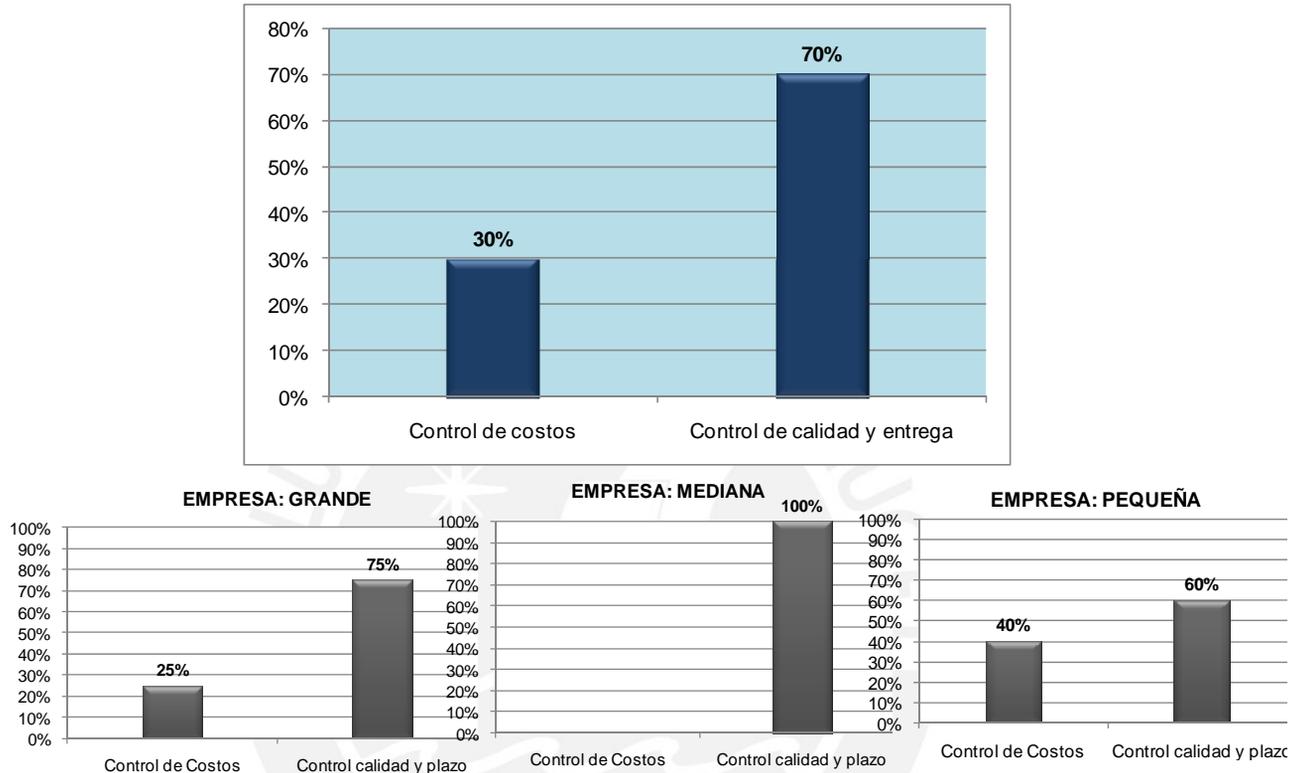
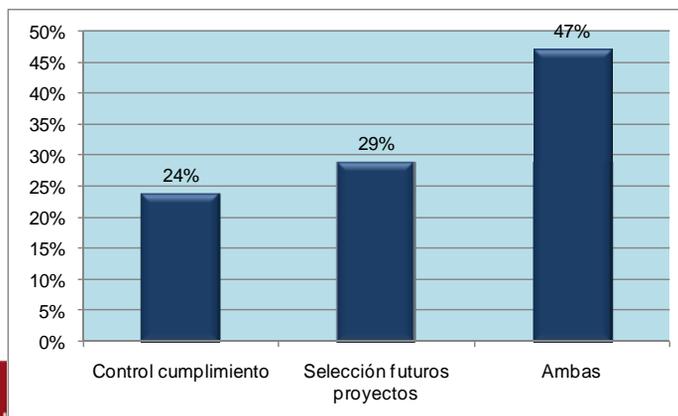


Figura 8. Metodología para la evaluación de los proveedores (Fuente Propia)

Del grupo encuestado, el 70% comentó que realizan un control de calidad y plazo de entrega; y el 30% controlan costos. Sin embargo, dichos controles no son registrados en una base de datos sino que simplemente son observaciones verbales que se le hacen a los proveedores.

**C. ¿Para qué emplea se emplea la información obtenida de la evaluación?**



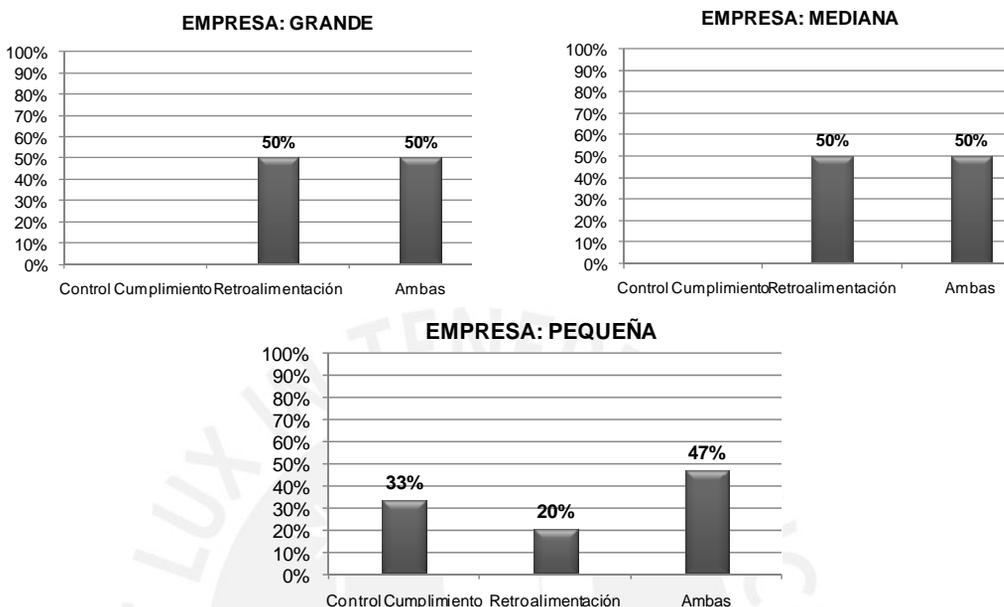


Figura 9. Uso de la información obtenida de la evaluación (Fuente Propia)

El 24% indica que la información obtenida es usada para el control del cumplimiento, el 29% señala que la emplea para la selección del proveedor para futuros proyectos; y el 47% revela que la información obtenida es usada para las dos opciones anteriores. Esto quiere decir que las empresas consideran que la información obtenida no sólo les servirá para el control del proyecto actual sino que también puede ser utilizada como fuente de retroalimentación para futuros proyectos.

## 2.2 CONCLUSIONES GENERALES

Se puede establecer que cualquier mejora que se haga tanto en la selección de insumos como en la evaluación de proveedores será de mucha utilidad para las empresas constructoras debido a que las encuestas revelan que dichas empresas reconocen que es importante trabajar sobre esos dos aspectos; sin embargo, la mayoría de los casos demuestra que no son enfocados de la mejor manera. Por lo tanto se propondrán metodologías que ayuden a evitar prácticas incorrectas, es decir que mejoren la situación actual.



# CAPITULO 3

## Marco Teórico

## MARCO TEÓRICO

El objetivo de este capítulo es dar a conocer la información encontrada en la revisión literaria acerca de la logística y la gestión de la cadena de abastecimiento dando especial énfasis a su aplicación en la construcción.

En primer lugar se presenta una definición de la logística así como una breve explicación de su evolución en la historia. En seguida se definen las funciones que cumple la logística en la construcción. Después se aclara el concepto de la cadena de abastecimiento y su relación con la logística. Por último, se detallan las técnicas y herramientas propuestas por dos metodologías de gestión, Lean Construction y el Project Management Institute, para la mejora de la logística.

### 3.1 LA LOGÍSTICA Y SU EVOLUCIÓN

Los orígenes del término logística se han asociado con la actividad militar en donde se le consideraba como parte del arte militar que se encargaba del transporte y alojamiento de los soldados, así como del almacenamiento y distribución de los alimentos, municiones y armas durante las batallas.

El Barón Antonie Henri de Jomini, general del ejército francés comandado por Napoleón Bonaparte, fue el primero en intentar definir la logística como “el arte de mover los ejércitos”. Asimismo, señaló que la logística se derivaba de un puesto en el ejército francés denominado Mariscal de Logística que era responsable de administrar el desplazamiento y alojamiento de las tropas.

Posteriormente ya en el siglo XX es donde se le comienza a dar más importancia al concepto de logística. Las principales etapas de evolución de la logística son:

- Gerenciamiento Fragmentado (hasta los años 50): las actividades logísticas (compras, transporte y almacenamiento) eran vistas de forma fragmentada. Las empresas no conocían el concepto de logística integral.

- Gestión Funcional (años 70): las actividades anteriormente fragmentadas son agrupadas en dos áreas (gestión de materiales y distribución física). En 1976, se define a la logística como “la integración de dos o más actividades con el propósito de planear, implementar y controlar el flujo eficiente de las materias primas, productos en proceso y productos terminados y sus informaciones desde el punto de origen hasta el punto de consumo” (National Council of Physical Distribution Management, 1976).
- Integración Interna (años 80): se caracteriza porque la logística comenzó a tomar un enfoque sistémico, es decir se plantea una mayor integración de las actividades de adquisición, producción y distribución. La logística se define como “el proceso de planear, implementar y controlar de manera eficaz y eficiente el flujo y almacenamiento de materias primas, productos en proceso y productos terminados y sus respectivas informaciones, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer plenamente las necesidades del cliente”.
- Integración Externa (años 90): las empresas se preocupan por conseguir una eficiencia del sistema logístico no sólo internamente sino también en sus relaciones con los proveedores y clientes. El Council of Logistics Management define a la logística como “la parte de la gestión de la cadena de abastecimiento que se encarga de la planificación, ejecución y control eficiente y eficaz del flujo y almacenamiento de bienes, servicios e informaciones desde su punto de origen hasta el punto de consumo de manera de satisfacer plenamente las necesidades del cliente”.

Actualmente se define a la logística como “la parte de la gestión de la cadena de abastecimiento que se encarga de la planificación; implementación y control del flujo directo y reverso; y almacenamiento eficaz y eficiente de bienes, servicios e informaciones, desde el punto de origen hasta el punto de consumo de manera de satisfacer plenamente las necesidades del cliente” (Council of Logistics Management, 2004). En esta definición se introduce el término de logística reversa o logística verde que consiste en regresar un producto desechado, ya sea por defecto o porque no se puede utilizar más, del consumidor a la fábrica con la finalidad de ser reciclados y reutilizados.

La logística se encarga de coordinar y planificar diferentes actividades con la finalidad de que el producto llegue al usuario final en el momento oportuno, con las cantidades requeridas, con la calidad demandada y al mínimo costo. Entre las actividades logísticas se encuentran:

- Compras: selección de la fuente de suministro, momento y cantidad de compra.
- Transporte: planificación del transporte de las materias primas y productos terminados.
- Manejo de inventarios: políticas de almacenamiento de materias primas y productos terminados; número, tamaño y localización de los puntos de almacenamiento.
- Flujos de información y procesamiento de pedidos.

De acuerdo a Novaes y Alverenga (1996) la logística puede subdividirse en:

- Logística externa: se encarga del flujo de materias primas e insumos desde afuera para adentro de la empresa. Esta logística es responsable de la compra, recepción y almacenamientos de los materiales a ser usados en la producción.
- Logística interna: se focaliza en el movimiento de los materiales dentro de la empresa. Tienen como reponsabilidad el manejo de los flujos de los materiales y gestión del inventario.
- Logística de entrega: se ocupa de distribuir los productos a los clientes. Se encarga del procesamiento de pedidos, despacho, transporte y distribución de los productos terminados.

### 3.2 LA LOGÍSTICA EN LA CONSTRUCCIÓN

La logística es un proceso multidisciplinario aplicado a una determinada obra para garantizar el suministro, almacenamiento y distribución de los recursos en los frentes de trabajo, asimismo se encarga de la estimación de las cantidades de los recursos a usar y de la gestión de los flujos físicos de producción. Este proceso se logra mediante las actividades de planificación, ejecución y control que tienen como

apoyo principal el flujo de informaciones antes y durante el proceso de producción (Adaptado de Cardoso y Silva, 1998)

Cardoso (1996) propone una subdivisión de la logística aplicable a la industria de la construcción:

- Logística Externa (de abastecimiento): se encarga de proveer materiales, equipos y personal necesario para la producción de las edificaciones. Entre las actividades que agrupa están: planeamiento y procesamiento de adquisiciones; calificación, selección y adquisición; transporte de recursos hasta la obra; pago a los proveedores, etc.
- Logística Interna (de obra): se encarga de los flujos físicos y de informaciones necesarios para la ejecución de los procesos constructivos en la obra. Entre las actividades más importantes tenemos el control de flujos físicos ligados a la ejecución; gestión de interface entre los involucrados en el proceso de producción, es decir proporciona la información necesaria para realizar sus actividades y la gestión del lugar de trabajo, es decir lugares de almacenamiento, manipulación interna, sistemas de transporte, etc.

### 3.3 LA GESTIÓN DE LA CADENA DEL ABASTECIMIENTO

Anteriormente se definió a la logística como parte de la gestión de la cadena de abastecimiento, sin embargo no se ha explicado en qué consiste dicha cadena. En los siguientes párrafos se definirá este concepto.

Una cadena de abastecimiento es el conjunto de redes de organizaciones que están envueltas, a través de enalces corriente arriba y corriente abajo, en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos o servicios en las manos del cliente final (Christopher, 1992)

Tommelein (2003) definió a la gestión de la cadena de abastecimiento (SCM) como la práctica de un grupo de compañías e individuos trabajando colaborativamente en una red de procesos interrelacionados estructurados con el fin de satisfacer las necesidades del cliente final mientras todos los miembros de la cadena se recompensan.

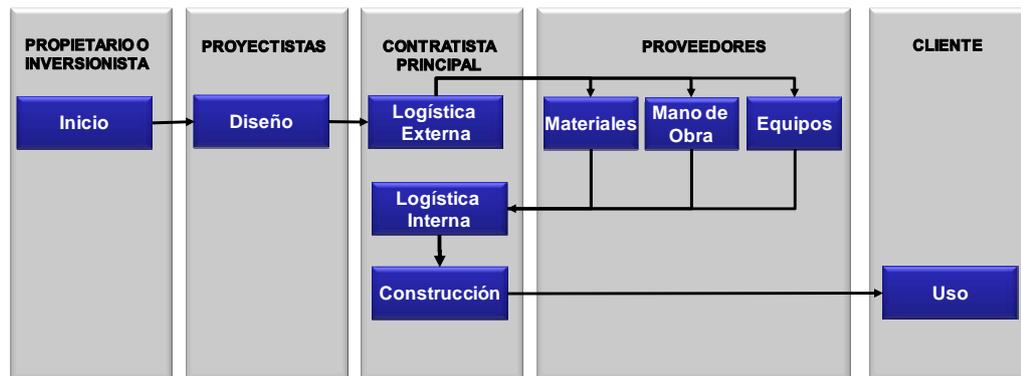


Figura 1. Configuración de la cadena de abastecimiento en la construcción (Fuente Propia)

En la figura 1, se aprecia que la cadena de abastecimiento está conformada por el propietario o inversionista, proyectistas, contratista principal, proveedores y clientes. Tradicionalmente un proyecto es enfocado considerando que las etapas de diseño y construcción se encuentran totalmente divorciadas. Esta manera de actuar trae muchos problemas, como por ejemplo: atrasos por diseños incorrectos, incongruencias en la información, informaciones atrasadas, cambios de último minuto, negociaciones hostiles, subcontratos no ejecutados de acuerdo a lo planeado, etc.

Todos estos problemas se pueden evitar si se enfoca la cadena de abastecimiento bajo el SCM, es decir si se entiende que todos los participantes deben estar integrados y no simplemente interrelacionados. Esto implica que los proyectistas trabajen en conjunto con los constructores y proveedores para asegurar que lo que se diseña pueda realmente construirse; y que en la medida de lo posible siempre se busque trabajar siempre con los mismos proveedores de tal manera que se involucre con la política de la empresa y aprenda lo que la empresa espera de él.

### 3.4 ENFOQUES GENERALMENTE ACEPTADOS SOBRE LA LOGÍSTICA

En las siguientes secciones se revisará los fundamentos del Lean Construction y el Project Management Institute (PMI), dos metodologías que son mayormente usadas en el país para la gerencia de proyectos. Asimismo, se explicará cómo enfocan la logística y que herramientas proponen.

### 3.4.1 LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUCCIÓN LEAN)

Para poder comprender en qué consiste el Lean Construction es necesario explicar previamente las bases sobre las cuáles se apoya este nuevo enfoque.

#### 3.4.1.1 LEAN PRODUCTION (PRODUCCIÓN LEAN)

Lean Production es una nueva filosofía que se basa en el sistema de producción Toyota. Todo comenzó cuando el ingeniero Taichi Ohno reconfiguró el sistema de producción de la Toyota para satisfacer la demanda del mercado japonés que exigía pequeños lotes pero de muchos modelos de productos debido a la excusa demanda después de la Segunda Guerra Mundial.

Taichi Ohno después de haber visitado varias plantas americanas de producción en masa de carros buscó la manera de mejorarla. Este tipo de producción hacía que las máquinas trabajaran al máximo de su capacidad ocasionando desperdicios de sobreproducción<sup>1</sup> que muchas veces derivaban en defectos en los carros fabricados. Mientras que en Estados Unidos apuntaban a minimizar el costo de cada parte, el objetivo de Ohno era entregar un producto en el menor tiempo posible cumpliendo con los requerimientos del cliente y sin inventarios (Ballard y Howell, 1999).

Para poder conseguir esto, Ohno buscó actuar sobre las causas de variabilidad o desperdicios, es decir sobre lo que no aumenta el valor percibido por el cliente y sobre las causas de inflexibilidad es decir, todo lo que no se adapta a las exigencias del cliente (Womack, Jones y Ross, 1990). Ohno implementó una serie de medidas tales como:

- Descentralizó la toma de decisiones, es decir los trabajadores paraban la línea de producción si encontraban una parte o producto defectuoso. Asimismo, hizo el proceso más transparente, a todo el personal se les dió información acerca de la producción para que entiendan realmente lo que debían hacer y se comprometían con los objetivos de la organización.
- Reemplazó el sistema centralizado de control de inventario mediante el kanban que consiste en un conjunto de tarjetas y cajas que sirven para jalar los

<sup>1</sup> Es uno de los tipos de desperdicio establecidos por Shingo y que consiste en producir más de lo necesario o que se produce a un ritmo más rápido del necesario.

materiales y partes a través de sistemas de producción según las necesidades de los consumidores.

- Diseñó el producto en conjunto con el sistema de producción.
- Involucró a los proveedores mediante la renovación de sus contratos donde se les incentivaba a reducir el costo de sus productos y participar en el proceso de mejora continua del sistema.

En la década de los 80, empresas japonesas, americanas y europeas ya conocían este sistema de producción y lo comenzaron a implantar. Pero no fue hasta el año 1990, cuando J. P. Womack y D. T. Jones publicaron “The Machine that changed the world” un libro que dio a conocer la historia de la manufactura automotriz y presentó un estudio acerca de las plantas de ensamblaje japonesas, estadounidenses y europeas. En este libro documentaron el sistema de producción Toyota al que denominaron “Lean Production”.

Lean Production se puede entender como una nueva manera de pensar y hacer las actividades en contraposición a la forma tradicional de la producción en masa. Esto se consigue mediante la aplicación de técnicas y principios en el diseño, abastecimiento y manufactura que son las actividades centrales para esta filosofía según lo definido por Womack (1990).

La conceptualización del proceso de producción ha evolucionado pasando por tres modelos, el primero ve a la producción como transformación (modelo de transformación), el segundo adiciona a la transformación el flujo (modelo de transformación y flujo) y el tercero adiciona al modelo anterior el valor (modelo de transformación, flujo y valor).

El primero modelo o llamado también de transformación ve a la producción como un proceso de entradas y salidas. Este proceso se puede dividir en subprocesos de conversión y como lo menciona Kokela (1992) el costo total del proceso se puede minimizar mediante la disminución del costo de cada subproceso. Las críticas a este modelo son que ignora los flujos como el movimiento, espera, etc., los cuales afectan la eficiencia de los procesos.

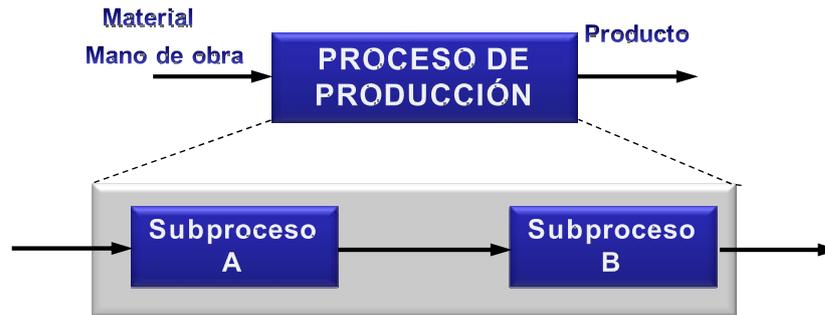


Figura 2. Modelo de transformación (Koskela, 1992)

El segundo modelo define a la producción como un flujo de materiales e información que pasa entre los procesos de producción desde la entrega de las materias primas hasta el producto final.

Aquí se hace una distinción entre dos tipos de actividades es decir las que añaden valor y las que no. Las primeras se denominan así porque consumen recursos pero no añaden valor al cliente y son las de actividades de flujo que se deben eliminar o reducir mientras que las segundas son las de conversión que deben ser más eficientes. Esta nueva conceptualización ha dado lugar a la nueva filosofía que se conoce como Lean Production.



Figura 3. Producción como un flujo de procesos. Las actividades en los recuadros pintados son las que no añaden valor. (Koskela, 1992)

Las raíces teóricas de esta filosofía de producción se encuentran en el JIT (Just in Time o Entrega Justo a Tiempo) y en el TQC (Totally Quality Control o Control Total de Calidad). El primero es de origen japonés y tiene como objetivo eliminar los desperdicios, Shingo (1984) reconoció los siguientes: sobreproducción, espera para el siguiente paso, transporte innecesario, sobreprocesamiento, inventarios excesivos, movimientos innecesarios y productos defectuosos para lo cual busca el mejoramiento continuo de los procesos. El segundo fue introducido por Armand V. Feigenbaum en su libro “Control Total de Calidad” en 1956 y consiste en involucrar

a todas las personas de una compañía en un proceso de mejoramiento continuo es decir, con cero defectos y sin desperdicios.

En 1996 James P. Womack y Daniel T. Jones definieron los cinco principios básicos que caracterizan al Lean Production y que se conoce como el Lean Thinking o Pensamiento Lean:

- Especificar los valores de un determinado producto que sólo pueden ser definidos por el cliente.
- Identificar el flujo de valor o cadena de valor para el producto, es decir consiste en analizar si cada paso en el flujo de valor es necesario o no y clasificar las actividades que crean valor y las que no. Esto permitirá tomar acciones para eliminarlas.
- Implementar un flujo continuo, es decir los componentes del producto deben estar en constante movimiento. Esto implica que la empresa se flexibilizará y responderá mejor a las demandas.
- Jalar la producción lo cual significa que sólo se producirá de acuerdo la demanda del cliente. En otras palabras la producción no debería hacerse según las previsiones de ventas sino sólo cuando el cliente lo requiera
- Perseguir la perfección a través del mejoramiento continuo porque para el Lean Production siempre hay una mejor manera de hacer las cosas.

Lean Production con el tiempo ha demostrado ser una filosofía que va más allá de la industria automotriz y que puede ser aplicada en diferentes campos como la electrónica o la construcción. El reto constante es poder adaptar los principios y técnicas a las características de cada campo.

#### **3.4.1.2 LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE (INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN LEAN)**

Lean Construction tiene como raíces al Lean Production y la primera persona en introducir estos conocimientos en el ámbito de la construcción fue Koskela en su tesis de doctorado “Application of the New Production Philosophy to Construction” en 1992.

Koskela demostró que al igual que en la industria manufacturera el proceso de conversión es la base del funcionamiento de la construcción. El control en la

construcción apunta a contrastar cada actividad individualmente contra un presupuesto y en caso se encuentren deficiencias en costo o tiempo de las actividades se busca mejorarlas individualmente creyendo que así mejorará el proyecto en conjunto; sin embargo se ignora que dichas actividades se interrelacionan por flujos de materiales, mano de obra e información y que éstos esconden desperdicios que afectarán el desempeño del proyecto. Asimismo, cuando se diseña un proyecto no se hace considerando el proceso constructivo, es decir no se toma en cuenta las restricciones que puedan existir en las fases posteriores del proyecto lo que trae como consecuencia retrabajo y cambios de órdenes.

El punto de partida para mejorar la construcción es cambiar la manera de pensar. Koskela sugiere que la información y los flujos de materiales así como el flujo de trabajo tanto en el diseño como en la construcción deben ser medidos en función de sus desperdicios y del valor que agregan. Asimismo, señala que a pesar de las peculiaridades de la construcción<sup>2</sup>, los principios y técnicas de esta nueva filosofía pueden ser aplicados en mejorar los flujos en la construcción.

Lean Construction es una nueva gerencia de producción basada en la entrega de proyectos y que apunta a los siguientes objetivos:

- Maximizar el desempeño del proyecto atendiendo a los requerimientos de los clientes en cada nivel del proceso.
- Diseñar conjuntamente el producto y proceso.
- Aplicar un control de producción desde el diseño del producto hasta la entrega.
- Minimizar o eliminar las actividades que no añaden valor.
- Reducir la incertidumbre asociada al proyecto en cuanto a costos y plazos.

En 1997 Glen Ballard y Greg Howell fundaron el Lean Construction Institute (LCI) o Instituto de Construcción Lean cuyo propósito es reformar la gerencia de producción en el diseño, ingeniería y construcción de proyectos.

Lean Construction desarrolló, en el año 2000, a partir de investigaciones el Lean Project Delivery System (LPDS) o Sistema de Entrega de Proyectos Lean.

---

<sup>2</sup> Proyectos únicos, producción en sitio, organización temporal e intervención de autoridades reguladoras

Este sistema es un marco conceptual que traslada los principios de la manufactura a la construcción. El objetivo es establecer una serie de reglas y herramientas a sistema de producción temporales tal como es el caso de los proyectos de construcción.

El LPDS se representa mediante un modelo que tiene cinco fases principales y 14 módulos. Las fases principales son: la definición del proyecto, diseño lean, abastecimiento lean, ensamblaje lean y uso; y cada una de éstas está conformada por tres módulos. Estas fases son interdependientes por lo que comparten un módulo. El control de la producción y la estructuración del trabajo se extienden a lo largo de las cinco fases. La evaluación post-ocupación interconecta el fin de un proyecto con el inicio del siguiente.

Las características esenciales del LPDS de acuerdo son<sup>3</sup>:

- El proyecto es estructurado y gerenciado como un proceso que genera valor.
- Los participantes corriente abajo están involucrados en la planificación y diseño a través de equipos multidisciplinarios.
- El control debe ser una herramienta ejecutada durante todo el proyecto.
- Los esfuerzos de optimización se concentran en hacer el flujo de trabajo confiable y no se enfocan en mejorar la productividad.
- Las técnicas de jalar son usadas para gobernar el flujo de materiales e información.
- Los buffers<sup>4</sup> de inventario y capacidad son usados para absorber la variabilidad.
- Los lazos de retroalimentación son incorporados en cada fase y apuntan a un rápido ajuste del sistema y al aprendizaje.

---

<sup>3</sup> Para mayor detalle ver Ballard (2000).

<sup>4</sup> El buffer es un mecanismo para amortiguar la fuerza de un problema (Lean Construction Institute).

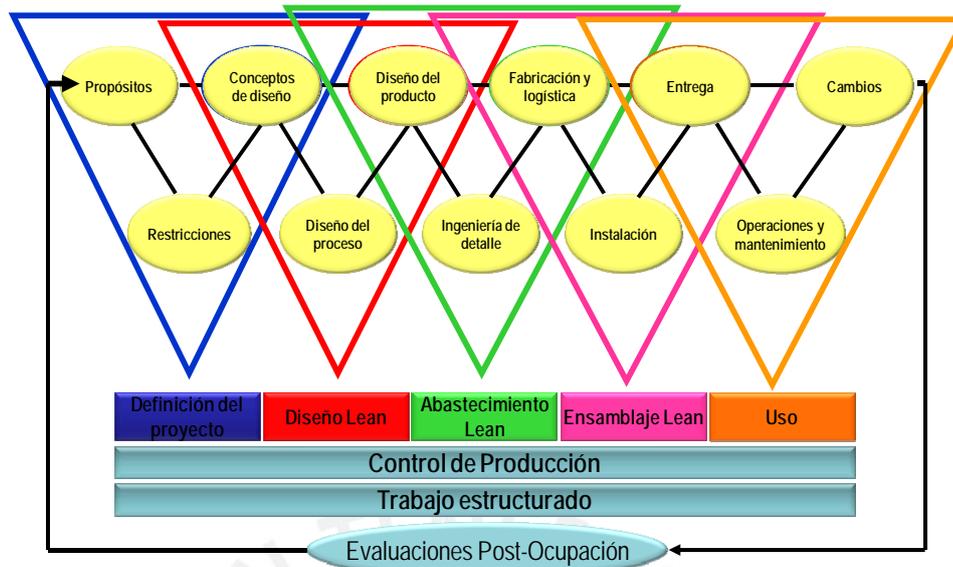


Figura 4. Lean Project Delivery System (Ballard, 2008)

A continuación se explicará las fases y módulos que conforman a este sistema:

- **Trabajo Estructurado:** es el desglose del producto y proceso en partes, secuencias y asignaciones para hacer el flujo más suave y con menos variabilidad, con la finalidad de reducir desperdicio e incrementar valor.
- **Control de Producción:** este módulo establece el uso del Last Planner o Último Planificador<sup>5</sup> como herramienta que servirá para el control del sistema de producción. Tiene como objetivo controlar el flujo de trabajo y la unidad de producción, la primera mediante el proceso lookahead y la segunda mediante el planeamiento del trabajo semanal.

Estos dos módulos son complementarios ya que por un lado el trabajo estructurado establece un plan y el control de la producción sirve para asegurar que el trabajo sea ejecutado como fue planeado. Ambos módulos recorren todas las fases del proyecto desde el diseño hasta la entrega.

- **Definición del proyecto:** esta fase esta conformada por tres módulos: los propósitos, las restricciones y los conceptos de diseño. La definición del proyecto incluye el análisis de las necesidades y valores (propósitos) del cliente

<sup>5</sup> El Último Planificador es la persona o grupo de personas que se encargan de asignar el trabajo a los obreros, en la construcción esta persona es el maestro de obra (Lean Construction Institute).

teniendo en cuenta las restricciones (normas, ordenanzas, etc.). El resultado de este proceso son los conceptos de diseño que vendrían a ser las alternativas del proyecto. En esta fase es necesaria la participación de los clientes, gerentes del proyecto, contratistas, proyectistas y en general de todas las personas que de alguna manera estén relacionadas con el proyecto. Una vez que las necesidades, valores, restricciones y conceptos de diseño estén alineados se puede pasar a la siguiente fase.

- **Diseño Lean:** aquí se desarrolla el diseño del proceso y del producto de manera simultánea y no como normalmente se hace, es decir diseñar primero el producto y posteriormente pensar en como se hará el proceso. El lean design busca explorar múltiples alternativas antes de tomar la decisión final. Para esto requiere que tanto los clientes, el constructor, los proyectistas, los proveedores, los maestros de obra, etc. estén involucrados. Si el proyectista establece un sistema aligerado prefabricado es necesario saber si existe disponibilidad en el mercado y qué ventajas ofrecen en cuanto a costo o tiempo, para lo cual se debe conocer la opinión del proveedor y constructor.
- **Abastecimiento Lean:** consiste en la ingeniería de detalle, fabricación y logística para lo cual se tiene como pre-requisito el diseño del producto y proceso de tal manera que se sabrá qué fabricar y cuando entregar los componentes. También incluye iniciativas como reducir el tiempo de entrega de información y materiales.
- **Ensamblaje Lean:** comienza con la entrega de materiales y la información relevante para su instalación y finaliza con la entrega del producto.
- **Uso:** El uso es la fase que consiste en la entrega del producto o servicio al cliente final, después de varias pruebas para certificar su calidad. También involucra acciones de modificación y mantenimiento que pudiesen ocurrir en el diseño.
- **Evaluación Post-Ocupación:** este módulo se introdujo para resaltar la importancia de documentar las experiencias de un proyecto y que nos puedan servir de aprendizaje para posteriores proyectos.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Para mayor detalle ver Ballard (2000).

### 3.4.1.3 LEAN SUPPLY (ABASTECIMIENTO LEAN)

Tal como se mencionó en los anteriores párrafos, el Lean Supply está conformado por el diseño del producto, ingeniería de detalle y la fabricación y logística. A continuación se explicará brevemente cada uno de estos módulos:

- **Diseño del producto:** este módulo consiste en coordinar tanto con los proyectistas, proveedores y contratistas para que discutan en conjunto acerca del diseño del producto de tal manera que puedan resolver anticipadamente todas las restricciones que pudieran existir. El resultado de este módulo es la definición de qué se va a hacer que se refleja en los planos del proyecto.
- **Ingeniería de detalle:** se refiere al conjunto de planos de detalle, especificaciones técnicas, cálculos, metrados, presupuestos, programación etc. que describen específicamente como será el producto y el proceso.
- **Fabricación y logística:** se refiere a que los productos y servicios sólo serán fabricados si son jalados por los clientes, es decir los productos sólo son entregados si hay una demanda real en lugar de almacenarse con el fin de satisfacer demandas supuestas.

Hellingsworth, Best y Valence, en su libro Design and Construction señalan que el lean supply busca oportunidades para un ensamblaje temprano, modularización y el uso de materiales estandarizados para evitar el problema de concordancia. Este problema ocurre cuando varios elementos se necesitan al mismo tiempo para el ensamblaje sin embargo uno o varios faltan lo cual retrasa el trabajo. Lean supply también apunta a sincronizar al proveedor y al cliente ajustando la velocidad del transporte o usando buffers.

En los diversos seminarios realizados por el International Group of Lean Construction<sup>7</sup> se ha abordado el tema de la logística ya que se reconoce que esta área se encuentra muy descuidada lo cual genera importantes pérdidas y afecta la productividad en las obras. En la práctica actual, la logística no se planea sino

---

<sup>7</sup> Grupo fundado en 1993 que reúne a investigadores, arquitectos e ingenieros que creen que la práctica en la construcción debe ser cambiada. Continuamente desarrollan nuevos métodos y principios basados en el lean production.

simplemente sucede, es decir el pedido de los suministros se da cuando la producción se ha parado. Asimismo, la mayoría de veces se escoge el material en función al menor precio y no se toma en cuenta otros factores como la calidad (Bertelsen, Nielsen, 1997).

El término Lean Logistics nace en el sistema de producción Toyota y significa “adelgazar” las actividades inherentes a la logística como la procura, distribución, almacenamiento, movimiento e inspección de bienes, servicios e información. Su objetivo fundamental es: entregar los materiales correctos, en cantidades y presentaciones correctas para conseguir la satisfacción del cliente.

Existen varios conceptos y herramientas relacionadas con el Lean Logistics que ayudan a lograr este objetivo:

- **Just in Time:** ayuda a reducir el inventario y sus costos asociados. Este proceso se realiza mediante el uso de un sistema de tarjetas denominado kanban.
- **Concepto del Costo Total:** significa que el costo total de un producto no es solamente igual al costo pagado sino que es la suma de varios costos a tener en cuenta como el costo de transporte, almacenamiento, manipulación interna, etc. En otras palabras, no sólo se debe considerar en la evaluación de un producto el costo del mismo sino incluir otros costos indirectos.
- **5S:** herramienta japonesa cuya finalidad es crear y mantener áreas de trabajo más limpias, organizadas y seguras. Las 5S son: seiri (organizar), seiton (ordenar), seiso (limpiar), seiketsu (estandarizar) y shitsuke (disciplinar).
- **Reducir los lead time:** el lead time es el tiempo que el cliente debe esperar para recibir un producto después de haber hecho el pedido. La reducción del lead time puede resultar en menores costos y una mejor satisfacción del cliente.
- **Frecuencia de entregas:** es una herramienta que ayuda al lean logistics a conseguir reducir los lead times e inventarios. Cuán mayor sea esta frecuencia los inventarios serán menores lo cual reducirá los costos.

- **Sistemas de medición:** que nos permitan evaluar nuestros procesos internos así como a los proveedores y el valor entregado al cliente.

En el 2007 Mossman introdujo el concepto Lean Construction Logistics o Logística Lean en la Construcción que consiste en todas las operaciones necesarias para entregar una estructura o edificación previamente diseñada, excepto que no incluye el hacer la edificación.

El lean Construction Logistics requiere de la coordinación entre los proveedores, proyectistas y constructores que deben estar involucrados desde el inicio del proyecto. Esto quiere decir que la logística emerge desde el diseño.

Asimismo, se plantean los puntos que se deben tomar en cuenta en la implantación de un plan logístico lean debido a que la generación del valor para el cliente no puede ser lograda sin ellos.

ASPECTO	DETALLE
Salud y Seguridad	Toma cuenta cualquier aspecto que pudiera afectar la seguridad o salud tanto individual como la del sitio.
Adquisiciones	Gerencia de las adquisiciones
Seguridad de la obra	Manejo de la seguridad materiales, equipos, vecinos y futuros usuarios.
Tráfico	Arreglos para el movimiento de los vehículos en el sitio y sus alrededores
Personal de Administración	Proveer personal técnico y administrativo que se encargará del proyecto
Orden	Almacenamiento limpio y ordenado de los equipos y materiales
Desperdicio	Manejo de los recursos y desperdicios dentro y fuera de la obra
Información	Flujo de información al personal, a los proveedores, vecinos, comunidad y otros involucrados
Personal	Instalaciones previstas para el personal y la gerencia
Materiales	Movimiento de los materiales desde la fuente hasta el personal y retiro de desperdicios; toma en cuenta las diferentes características de los materiales y las restricciones que afectan su movimiento.
Infraestructura de la obra	Instalaciones de agua, desagüe y eléctricas
Equipos y herramientas	Proveer equipos y herramientas

Tabla 1. Aspectos a tomar en cuenta en un plan logístico lean (Mossman, 2007)

Algunos autores como Ballard, Tommelien, Mossman, Arbulú, etc. han planteado algunas herramientas que apuntan a mejorar la logística:

- **Centros logísticos:** son lugares fuera de la obra donde los materiales son ensamblados, almacenados y distribuidos a la obra.

- **Kanban:** sistema de tarjetas que sirven para jalar los materiales desde la obra de acuerdo a lo que se necesite.
- **Web:** ayuda a proporcionar información en tiempo real así como sirve para monitorear que las entregas de materiales se hagan a tiempo.
- **Last Planner:** se le considera como un sistema de planeamiento de logística porque ayuda a controlar la producción en la obra y por lo tanto a reducir la variabilidad de la demanda. Esto significa que no todas las actividades planeadas han sido ejecutadas y por lo tanto los recursos para completar aquellas actividades se han quedado sin usar creando desperdicios.

Algunas de estas herramientas como los centros logísticos no han sido aún probadas en obras por lo que no se sabe si realmente funcionarán en la realidad. Por lo tanto, el Lean Construction Logistics es un campo que recién se está explorando quedando aún mucho camino por recorrer por lo pronto ya se han comenzado a sentar las bases de este nuevo concepto.

### 3.4.2 PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE (PMI)

El PMI es una institución líder sin fines de lucro en el área de la gestión de proyectos que fue fundada en 1969 en los Estados Unidos. Actualmente cuenta con más de 260,000 miembros en más de 170 países. Entre sus principales objetivos se encuentran formular estándares profesionales, generar conocimiento a través de la investigación y promover la gestión de proyectos como profesión mediante sus programas de certificación.

En 1987, el PMI publica la primera versión del “Project Management Body of Knowledge” (PMBOK) donde se intentaba reunir todas las prácticas generalmente aceptadas en la dirección de proyectos. La tercera edición del PMBOK, publicada en el 2004, contiene mejoras acerca los fundamentos de la dirección de proyectos, es decir la suma de conocimientos que son reconocidos como buenas prácticas. Las herramientas y técnicas planteadas en el PMBOK pueden ser aplicados a una amplia variedad de proyectos sin embargo se debe tener en cuenta que no puede usarse uniformemente por lo cual el equipo de dirección del proyecto debe determinar lo que es apropiado para cada proyecto.

De acuerdo con la definición del PMBOK, un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o un resultado único. Es temporal porque tiene un comienzo y final definido a diferencia de las operaciones que son continuas y repetitivas; y son únicos porque cada producto entregable tiene características singulares que lo diferencia de los demás.

Un gerente de proyectos debe aplicar sus conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a todas las actividades del proyecto. La gestión del proyecto será exitosa si se cumple con tres variables alcance, costo y tiempo planteados, siendo la calidad una consecuencia. A estas tres primeras variables se les denomina “Triángulo de Hierro” debido a que cualquier modificación en una de las variables implica un cambio en las otras dos.

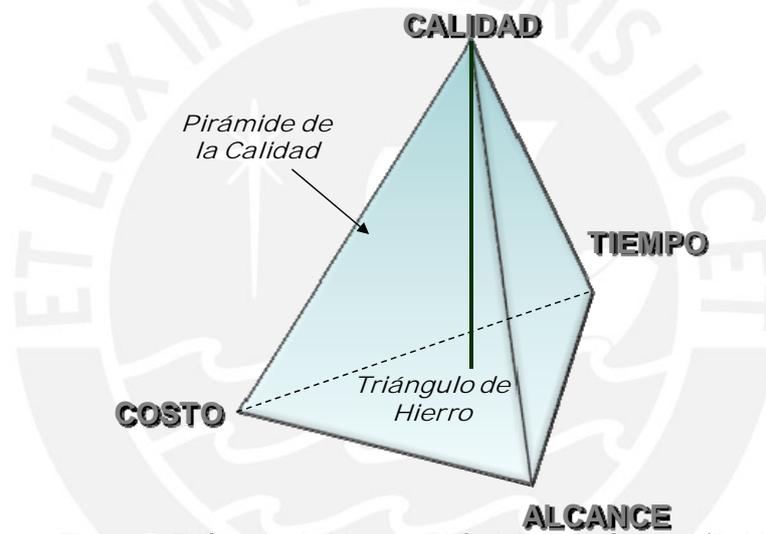


Figura 5. Triángulo de hierro y Pirámide de la Calidad (Pablo Orihuela, 2009)

El PMI establece que para gestionar un proyecto, éste se puede dividir en fases las que en conjunto forman el ciclo de vida del proyecto. Por ejemplo en un proyecto de construcción las fases pueden ser la factibilidad, diseño, construcción y puesta en marcha. Un ciclo vida se caracteriza porque el nivel de incertidumbre es más alto al inicio del proyecto y disminuye a medida que se avanza; asimismo la influencia de los interesados en el costo y características del producto es mayor al inicio.

El PMI propone que cualquier proyecto se puede ver como una serie de subprocesos que se agrupan en cinco grandes grupos (Inicio, Planificación, Ejecución, Control y Cierre) los cuales para ser gestionados requieren diferentes conocimientos que se agrupan en nueve áreas (Integración, Alcance, Tiempo,

Costo, Calidad, Recursos Humanos, Comunicaciones, Riesgos y Adquisiciones). Adicionalmente existen las áreas de Seguridad, Medio Ambiente, Controversias y Finanzas para el sector construcción.

- **Grupos de Procesos de Iniciación:** son aquellos procesos que facilitan la autorización formal para comenzar un nuevo proyecto o la fase del mismo.
- **Grupos de Procesos de Planificación:** define y refina los objetivos, y planifica el curso de acción requerido para lograr los objetivos y el alcance pretendido del proyecto.
- **Grupos de Procesos de Ejecución:** integra a personas y otros recursos para llevar a cabo el plan de gestión del proyecto.
- **Grupos de Procesos de Seguimiento y Control:** su función es hacer cumplir los objetivos del proyecto por lo que constantemente supervisa con el fin de determinar si existen variaciones con respecto al plan del proyecto y poder corregirlas a tiempo.
- **Grupos de Procesos de Cierre:** finaliza al proyecto o a una fase del mismo o entrega un producto terminado.

Cualquier subproceso está compuesto por una entradas; técnicas y herramientas; y una salida. En otras palabras las entradas son transformadas con las técnicas y herramientas para obtener un resultado o salida. Los grupos de procesos se relacionan mediante los resultados o en otras palabras la salida de un proceso es la entrada de otro.



Figura 6. Esquema de los subprocesos (Fuente Propia)

Grupo de Procesos Áreas de Conocimiento	Iniciación	Planificación	Ejecución	Seguimiento y Control	Cierre
4. Gestión de la Integración del Proyecto	4.1 Desarrollar Acta de Constitución del Proyecto 4.2 Desarrollar del Enunciado del Alcance del Proyecto Preliminar	4.3 Desarrollar Plan de Gestión del Proyecto	4.4 Dirigir y Gestionar la Ejecución del Proyecto	4.5 Supervisar y Controlar el Trabajo del Proyecto 4.6 Control Integrado de Cambios	4.7 Cerrar Proyecto
5. Gestión del Alcance del Proyecto		5.1 Planificación del Alcance 5.2 Definición del Alcance 5.3 Crear EDT		5.4 Verificación del Alcance 5.5 Control del Alcance	
6. Gestión del Tiempo del Proyecto		6.1 Definición de Actividades 6.2 Establecimiento de la Secuencia de las Actividades 6.3 Estimación de Recursos 6.4 Estimación de Duraciones 6.5 Desarrollo del Cronograma		6.6 Control del Cronograma	
7. Gestión de los Costos del Proyecto		7.1 Estimación de Costos 7.2 Preparación del Presupuesto de Costos		7.3 Control de Costos	
8. Gestión de la Calidad del Proyecto		8.1 Planificación de la Calidad	8.2 Aseguramiento Calidad	8.3 Control de Calidad	
9. Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto		9.1 Planificación de los Recursos Humanos	9.2 Adquirir el Equipo del Proyecto 9.3 Desarrollar el Equipo del Proyecto	9.4 Gestionar el Equipo del Proyecto	
10. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto		10.1 Planificación de las Comunicaciones	10.2 Distribución de la Información	10.3 Informar el Rendimiento 10.4 Gestionar a los Interesados	
11. Gestión de los Riesgos del Proyecto		11.1 Planificación de la Gestión de Riesgos 11.2 Identificación de los Riesgos 11.3 Análisis Cualitativo de Riesgos 11.4 Análisis Cuantitativo de Riesgos 11.5 Planificación de la Respuesta de Riesgos		11.6 Seguimiento y Control de Riesgos	
12. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		12.1 Planificar las Compras y Adquisiciones 12.2 Planificar la Contratación	12.3 Solicitar Respuestas de Vendedores 12.4 Selección de Vendedores	12.5 Administración del Contrato	12.6 Cierre del Contrato

Tabla 2. Gestión de Proyectos de acuerdo a los Grupos de Proesos y Áreas de Conocimiento (PMI, 2004)

Para el desarrollo de la tesis se pondrá énfasis en el área de conocimiento de Gestión de las Adquisiciones del Proyecto con lo cual se revisarán los seis procesos que la integran.

### 3.4.2.1 GESTIÓN DE LAS ADQUISICIONES DEL PROYECTO

La gestión de las adquisiciones implica utilizar los conocimientos, habilidades, técnicas y herramientas con el fin de obtener productos, servicios y/o resultados; y garantizar su suministro a lo largo de todo el proyecto.

La empresa puede cumplir dos papeles tanto el de compradora como el de vendedora, en cualquiera de los dos casos tiene que haber un contrato de por medio. Un contrato es un acuerdo legal que vincula a los proveedores con los compradores mediante el cual se establece que el primero se compromete a brindar productos, servicios o resultados y el segundo se compromete a pagar. La parte vendedora puede ser denominada contratista, subcontratista, vendedor o proveedor; y la parte compradora puede ser cliente, contratista, organización que compra o comprador.

Para poder realizar la gestión de adquisiciones de un proyecto necesitamos información de otras áreas del conocimiento como son:

- **Alcance:** define cuáles van a ser los productos entregables incluyendo sus aspectos técnicos y su presentación.
- **Integración:** proporciona una guía de cómo hacer el plan de adquisiciones del proyecto.
- **Riesgos:** analizar las condiciones que podrían afectar las adquisiciones del proyecto. Por ejemplo, la falta de disponibilidad de recursos, la necesidad de pedir productos con anticipación, etc.
- **Tiempo:** es estimar en base al cronograma cuáles son los recursos necesarios (material, mano de obra y equipos), qué cantidad se usará y cuando debe estar disponible. Determina la fecha de inicio y fin planificados para las actividades.
- **Costos:** costos probables de los recursos necesarios para completar las actividades con lo cual se arma un presupuesto.
- **Comunicaciones:** proporcionan información acerca del rendimiento de los vendedores



Figura 7. La gestión de adquisiciones y las áreas de conocimiento relacionadas (Fuente Propia)

La gestión de las adquisiciones se puede dividir en cinco subprocesos cada uno de los cuales tiene diferentes técnicas y herramientas. Los cinco subprocesos son:

- **Planificar las compras y adquisiciones:** se indentifica que se va a comprar, que se va a alquilar y que se va a fabricar.
- **Planificar la contratación:** se define cómo se va a contratar y evaluar a los proveedores.
- **Solicitar respuesta de los vendedores:** se hace una lista con los proveedores calificados y se les solicita una propuesta.
- **Selección de los vendedores:** se evalúan y seleccionan a los proveedores; y se firma un contrato.
- **Administración de contrato:** se hace un control a los proveedores para saber si está cumpliendo con lo acordado.
- **Cierre del contrato:** cancelación del contrato previa verificación de que todo el trabajo y productos se hayan cumplido con los requisitos establecidos previamente.

A continuación se presentan las técnicas y herramientas usadas en cada subproceso.

PROCESOS

SUBPROCESO	Iniciación	Planificación	Ejecución	Seguimiento y Control	Cierre
Planificar las Compras y Adquisiciones		- Análisis de fabricación directa o compra - Juicio de expertos - Tipos de contratos			
Planificar la Contratación		- Formularios estándar - Juicio de expertos			
Solicitar Respuestas de Vendedores			- Conferencias de oferentes - Publicidad - Desarrollar una lista de vendedores calificados		
Selección de Vendedores			- Sistema de ponderación - Estimaciones independientes - Sistema de selección - Negociación del contrato - Sistemas de calificación de vendedores - Juicio de expertos - Técnicas de evaluación de propuestas		
Administración del Contrato				- Sistema de control de cambios del contrato - Revisión del rendimiento realizada por el comprador - Inspecciones y auditorías - Informar el rendimiento - Sistema de pago - Administración de reclamaciones - Sistema de gestión de registros - Tecnología de la información	
Cierre del Contrato					- Auditorías de adquisición - Sistema de gestión de registros

Tabla 3. Técnicas y Herramientas para la Gestión de las Adquisiciones (Fuente Propia)

### 3.5 COMENTARIOS

El Lean Construcción y el PMI enfocan al modelo de producción de diferentes maneras. El primero considera que la producción es simplemente transformación, es decir está conformado por una entrada, proceso de conversión y salida. El segundo, en cambio, emplea el modelo de transformación, flujo y valor, es decir que en todo proceso siempre habrá flujos de recursos e informaciones las cuales en su mayoría generan desperdicios y no agregan valor al cliente.

El PMI plantea que el fin del control de proyectos es detectar las variaciones con respecto del objetivo planeado de tal manera que se tomen acciones correctivas sin detectar las causas de los problemas. En cambio el Lean Construction hace énfasis en el control de la producción, es decir se preocupa por analizar los flujos dentro del proyecto, detectar las causas de los problemas y mejorar los procesos.

En cuanto a la logística, el Lean Construction propone herramientas que apuntan a reducir las variabilidades de los demandas de las obras; sin embargo la fase del Abastecimiento Lean no se encuentra tan desarrollado como la Definición del Proyecto o Diseño Lean que tienen procedimientos o pasos para llevarlos acabo. El PMI, al tener un PMBOK, si tiene un conjunto de procesos bien definidos para llevar acabo la gestión de las adquisiciones desde que se analiza la necesidad de adquirir el producto hasta el cierre del contrato.

En base a lo anteriormente expuesto, ninguno de los dos enfoques son obsoletos ni contrapuestos sino que más bien son complementarios. Esto implica que ambas deberían unirse de tal manera que se aprovechen los beneficios y conocimientos de cada una para mejorar la gestión de los proyectos y sobretodo el área de logística.

# CAPITULO 4

## Técnicas y Herramientas Propuestas

## TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS PROPUESTAS

El propósito fundamental de este capítulo es proponer una serie de métodos, técnicas y herramientas que ayudarán a mejorar la gestión de la logística externa en dos aspectos:

- Evaluación y selección de insumos.
- Control del desempeño de los proveedores en obra.

Por tal motivo, en el capítulo anterior se presentaron técnicas y herramientas que plantean tanto el Lean Logistics del Lean Construction como la Gestión de las Adquisiciones del PMI, lo cual sirvió de base para seleccionar aquellas que sirvan para cumplir con el propósito de la tesis. En el siguiente cuadro se presenta un resumen de las técnicas y herramientas encontradas:

LEAN LOGISTIC	GESTIÓN DE LAS ADQUISICIONES
Last Planner	Análisis de fabricación directa o compra
Kanban	Juicio de expertos
Centros logísticos	Tipos de contratos
Web	Formularios estándar
5s	Conferencia de oferentes
Concepto del Costo Total	Publicidad
	Lista de vendedores calificados
	Sistema de ponderación
	Estimaciones independientes
	Sistema de selección
	Negociación del contrato
	Sistema de calificación de vendedores
	Técnicas de evaluación de propuestas
	Sistema de control de cambios
	Revisión del rendimiento
	Inspección y auditoría
	Informar el rendimiento
	Sistema de pago
	Administración de reclamos
	Sistema de gestión de registros
	Tecnología de la información
	Auditorías de adquisición

Tabla 1. Técnicas y Herramientas sobre la logística del Lean y PMI (Fuente Propia)

Las técnicas y herramientas resaltadas han sido usadas como base para el desarrollo del presente capítulo. Como se observa la mayor parte de técnicas pertenecen a la Gestión de las Adquisiciones del PMI.

Esto se debe a las herramientas propuestas por el Lean Logistics sirven principalmente para hacer reducir la variabilidad de la demanda en la obra haciendo que el flujo de trabajo sea mucho más confiable; en pocas palabras trabaja más en el ámbito de la logística interna. Por otro lado, la Gestión de Adquisiciones del PMI, está mucho más enfocada a la gestión de la logística externa ya que si proponen técnicas para seleccionar y controlar proveedores.

Sin embargo, en ambos casos sólo se da una breve explicación de las técnicas y herramientas más no se detalle cuál es el procedimiento. Por lo tanto, dichas técnicas han sido complementadas usando la Teoría de Decisiones en el caso de la selección de insumos y con la Matriz de Efectividad desarrollada por el Insituto de la Industria de la Construcción para el caso de control de proveedores.

#### **4.1 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE INSUMOS:**

La evaluación y selección de insumos es muy importante debido a que si se hace de manera correcta y anticipada evitará futuros conflictos que puedan presentarse durante la construcción del proyecto.

Por lo tanto, en esta sección se incide en que la definición de los insumos debe hacerse durante las etapas de diseño y planificación. Para contribuir a este fin se presenta un listado alternativas, los criterios para dichas alternativas y una metodología que ayudarán en la selección de los materiales, mano de obra, equipos y herramientas

##### **4.1.1 TIPOS DE INSUMOS EN LA CONSTRUCCIÓN**

Para desarrollar cualquier proyecto de construcción se necesitan de materiales, mano de obra, equipos y herramientas que deben combinarse para conformar los diferentes elementos del proyecto. Estos son los recursos básicos y por lo general son provistos por empresas externas, especialmente en el caso de materiales, equipos y herramientas.

Los recursos se subdividen en insumos que al unirse definen los costos unitarios de cada partida del presupuesto y por lo tanto el costo de directo de un

proyecto. A continuación se definirán cada uno de los recursos así como las modalidades bajo las que se pueden encontrar en el mercado:

#### 4.1.1.1 MATERIALES:

Son elementos que al ser mezclados o unidos con otros conforman un elemento de una estructura. Una característica de este recurso es que al utilizarse quedará embebido en el proyecto.

En la revisión literaria se han encontrado dos formas de clasificar a los materiales. A continuación se detallarán cada una de éstas:

De acuerdo a las formas y dimensiones del material (ITINTEC, 1979):

- Material amorfo: no tiene forma geométrica definida. Por ejemplo: el agua, el cemento, los agregados, etc.
- Material semielaborado: son materiales procesados con forma definida y dimensiones de uso por determinar. Por ejemplo: el mortero, el concreto, etc.
- Elemento simple: tiene una forma y dimensiones de uso determinados. Por ejemplo: ladrillos, cerámicos, etc.
- Elemento compuesto: constituido por elementos simples o de estos con materiales amorfos. Por ejemplo: viguetas prefabricadas o pretensadas, etc.

De acuerdo al nivel de personalización, es decir el grado con que el cliente puede intervenir en las características del material o producto. Esta clasificación es propuesta por el Lean Construction:

- Made-to-stock: son productos básicos o estándar, es decir que no necesitan que el cliente defina sus características para que puedan fabricarse. Estos siempre se podrán encontrar en stock. Por ejemplo: los ladrillos, el cemento, los clavos, etc.
- Made-to-order: si bien también son productos estándar necesitan una orden previa del cliente para poder fabricarse. En esta orden se indican las características que el producto debe tener. Por ejemplo: el concreto premezclado, las viguetas prefabricadas o pretensadas, el acero dimensionado, etc.

- Engineered-to-order: son diseñados y fabricados de acuerdo a las especificaciones del cliente especialmente para el proyecto. Por ejemplo: una baranda metálica, los reposteros de cocina, etc.

En la mayoría de los casos los materiales pueden tener dos orígenes, es decir pueden fabricarse internamente en la obra o externamente. Por ejemplo: el concreto puede ser hecho en obra o premezclado, el acero puede comprarse en varillas o dimensionado, etc.

#### 4.1.1.2 MANO DE OBRA:

Son las personas que ejecutan las partidas de la obra. De acuerdo a su origen se puede clasificar en:

- Propia: mano de obra que pertenece a la planilla de la empresa y sobre la que el empleador tiene una serie de obligaciones directas. Este tipo de mano de obra tiene varias categorías pero las más empleadas son: peón, oficial y operario. Cada categoría tiene un costo distinto por hora hombre.
- Subcontratada: mano de obra provista por empresas externas al proyecto. Existen dos tipos de subcontratos: subcontrato de mano de obra y subcontrato a todo costo que incluye los materiales además de la mano de obra.

#### 4.1.1.3 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS:

Son los instrumentos que ayudan al personal a ejecutar los trabajos de obra. De acuerdo a su origen se puede clasificar en:

- Existentes: aquellos que son de propiedad de la empresa y que han sido usados con anterioridad en otros proyectos.
- Alquilados: son provistos por proveedores por un tiempo determinado. Las opciones de alquiler, en el caso del equipo, pueden incluir o no al operario del mismo y el combustible si es necesario.
- Comprados: son aquellos que se adquieren pasando a formar parte de los activos de la empresa.

CLASIFICACIÓN DE LOS INSUMOS			
<b>MATERIALES</b>		<b>MANO DE OBRA</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propia</li> <li>• Subcontratada (Mano de obra)</li> <li>• Subcontratada (Todo Costo)</li> </ul>	<b>EQUIPOS Y HERRAMIENTAS</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existentes</li> <li>• Comprados</li> <li>• Alquilados</li> </ul>
<b>FORMA Y DIMENSIONES</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Materias Primas</li> <li>• Materiales Semielaborados</li> <li>• Elemento Simple</li> </ul>	<b>NIVEL DE PERSONALIZACIÓN</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Made-to-stock</li> <li>• Made-to-order</li> <li>• Engineered-to-order</li> </ul>		

Tabla 2. Clasificación de los insumos en la construcción (Fuente Propia).

#### 4.1.2 TIPO DE DECISIONES PARA EL ABASTECIMIENTO EN LA CONSTRUCCIÓN

El proceso de abastecimiento de una obra implica que la empresa, usando su logística, previamente defina los siguientes aspectos: ¿qué abastecer?, ¿de qué marca abastecer?, ¿de qué proveedor abastecer?, ¿cuánto abastecer?, ¿cuándo abastecer? y ¿dónde abastecer?

La interrogante ¿qué abastecer? no sólo implica definir el tipo de insumo sino también cuál será su origen. Por ejemplo: no sólo basta con establecer que necesito un concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup> para las losas sino que se debe definir si se fabricará en obra o se comprará (concreto premezclado). Por lo tanto, las decisiones en la logística también abarcan la resolución de las siguientes interrogantes: ¿el material a emplear se fabricará en la obra o se comprará hecho?, ¿la mano de obra será propia o subcontratada?, ¿el equipo se comprará o alquilará? Este tipo de interrogantes se les conoce respectivamente como la decisión de comprar o fabricar, decisión de emplear mano de obra propia o subcontrato y la decisión de comprar o alquilar equipos.

En el siguiente esquema general se presenta la conformación de un proyecto de edificación, es decir está compuesto por un sistema estructural, a su vez el sistema se divide en rubros, éstos están integrados por partidas y finalmente las partidas están conformadas por los recursos. A partir del nivel de recursos es donde se deben tomar múltiples decisiones para definir exactamente los insumos a usar, tal como se comentó, las decisiones pasan parten desde la definición del origen, tipo, marca y proveedor del insumo.

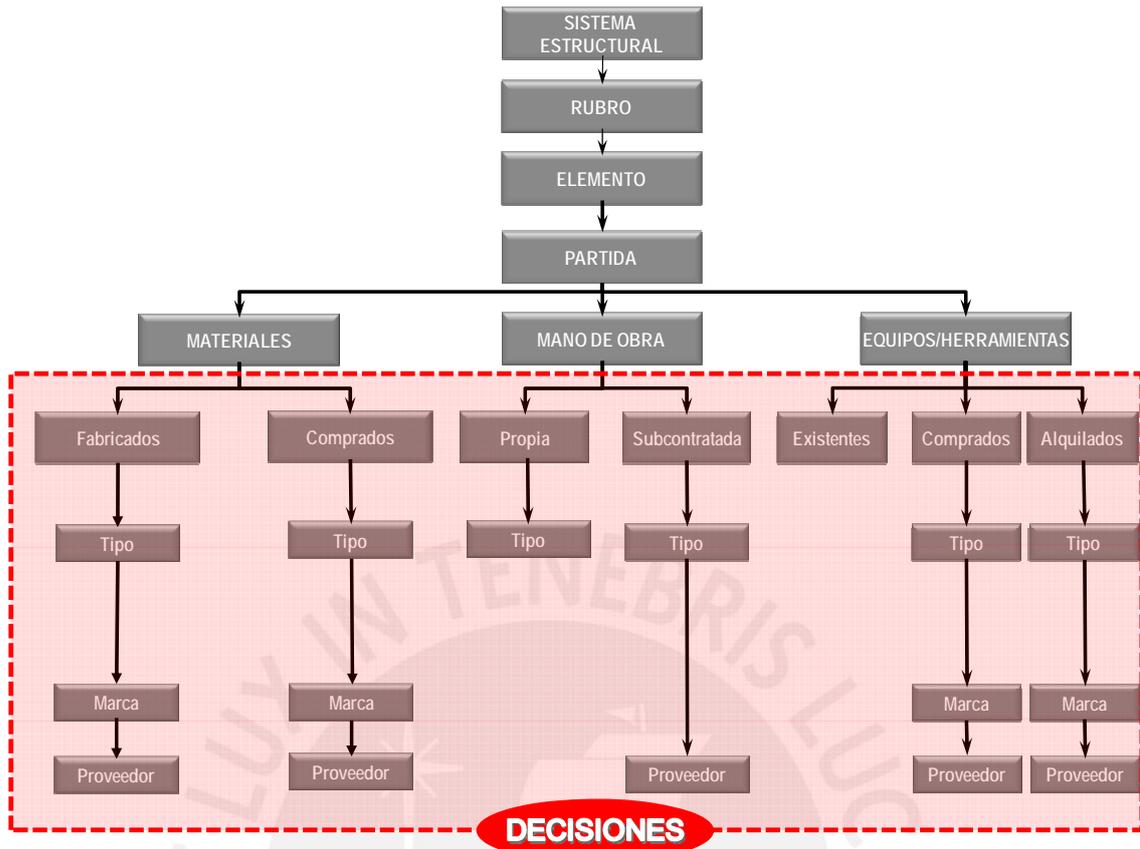


Figura 1. Esquema general de un proyecto de edificación (Fuente Propia)

A continuación se explicarán las decisiones relacionadas con los orígenes de los insumos y las ventajas que ofrecen cada una de las opciones.

#### 4.1.2.1 DECISIÓN DE FABRICACIÓN O COMPRA DE MATERIALES

Implica determinar si la empresa va a producir internamente, con sus propios recursos, los materiales; o si los va a comprar de un proveedor. Este tipo de decisión está relacionada con los materiales semielaborados o elementos (ver definición sección 4.1.1).

Muchas veces esta decisión se toma considerando varios factores entre los cuales se tiene: el espacio que se necesita para almacenar las materias primas para la fabricación del producto, la cantidad recursos necesarios para fabricar los productos, el plazo de entrega, etc.

Alguna de las ventajas que tiene el fabricar son que el producto se obtiene en el momento que se desee, generalmente el costo es menor, etc. Las ventajas que se tienen a favor de la compra son la eliminación del tiempo y recursos invertidos

en la fabricación de los productos, permite a las empresas concentrarse en la ejecución de otras actividades, etc.

#### **4.1.2.2 DECISIÓN DE EMPLEAR MANO DE OBRA PROPIA O SUBCONTRATAR**

La decisión de subcontratar es una práctica común adoptada por las empresas constructoras y es fomentada por las características que tienen las obras, es decir la unicidad y variación geográfica.

Al ser cada obra de construcción única, la especialización de la mano de obra es mucho más difícil lo que ocasiona que existan muchas actividades con las cuales los obreros no están muy bien familiarizados. Esto hace que muchas veces las empresas constructoras decidan subcontratar mano de obra especializada para asegurar que las actividades se ejecuten de manera satisfactoria y con un menor costo.

Muchas veces los proyectos de construcción se realizan en diferentes lugares del país. Para una empresa constructora con varias obras es más difícil controlar al personal; y muy costoso trasladar a los obreros y equipos por lo que muchas veces se opta por subcontratar.

La subcontratación tiene diversas ventajas como permitir a la empresa focalizarse en las actividades que son su núcleo central o que dominan más, obtener menores costos y tiempos. Sin embargo, también tiene aspectos negativos como la calidad del producto final que puede ser deficiente si la selección del subcontratista no es la correcta y está basada únicamente en el menor precio.

#### **4.1.2.3 DECISIÓN DE ALQUILAR O COMPRAR EQUIPOS**

Los equipos son recursos fundamentales para el desarrollo de las obras de construcción ya que existen muchas actividades que son difíciles o imposibles de realizar manualmente, por ejemplo: la excavación masiva, la preparación de grandes volúmenes de concreto, etc. Por lo tanto la decisión de alquilar o comprar es un tema obligatorio para el planeamiento de cualquier proyecto de construcción.

La conveniencia de comprar o alquilar depende de varios factores como los recursos financieros con los que cuenta la empresa, la disponibilidad de la oferta en el mercado, la frecuencia del uso que se le vaya a dar al equipo, etc. (Barber Loret, 2003)

La opción de compra permite que el equipo esté disponible en el momento que se necesite por lo que no se tiene que depender de un proveedor; sin embargo, siempre hay que preocuparse en que tenga una ocupación permanente. En cambio, el alquiler hace que se tenga el equipo para lo que exactamente se necesita por lo que no nos debemos preocupar de darle uso todo el tiempo ya que se puede devolver. Asimismo siempre se tiene la posibilidad de alquilar un equipo más moderno.

En cualquiera de los tres tipos de decisiones se deben considerar tanto las ventajas como desventajas que ofrecen ambas alternativas y que variarán dependiendo del caso a evaluar.

#### **4.1.3 MOMENTOS PARA LA SELECCIÓN DE INSUMOS EN LA CONSTRUCCIÓN**

Tal como lo menciona el Lean Construction, los insumos deben definirse desde el inicio del proyecto, es decir debería emerger desde la etapa de diseño de tal manera que se aproveche los conocimientos de los proveedores y con ayuda de estos se establezcan exactamente las características del producto a ejecutar.

Lo anterior ayudará a preveer con anticipación qué insumos se van a necesitar de tal manera que se minimicen las decisiones de último momento que generan atrasos, reprocesos y mayores costos para el proyecto. Se denominan decisiones de último momento a las que se toman durante la etapa de construcción; sin embargo, en la práctica no pueden ser completamente evitadas por la ocurrencia de factores externos como por ejemplo: la subida de precio o falta de stock de un insumo.

Por este motivo se propone en esta tesis tres etapas donde se deben tomar decisiones para la definir los insumos, la primera corresponde a antes del diseño, la segunda durante planificación y la última, que debe minimizarse, durante la construcción.

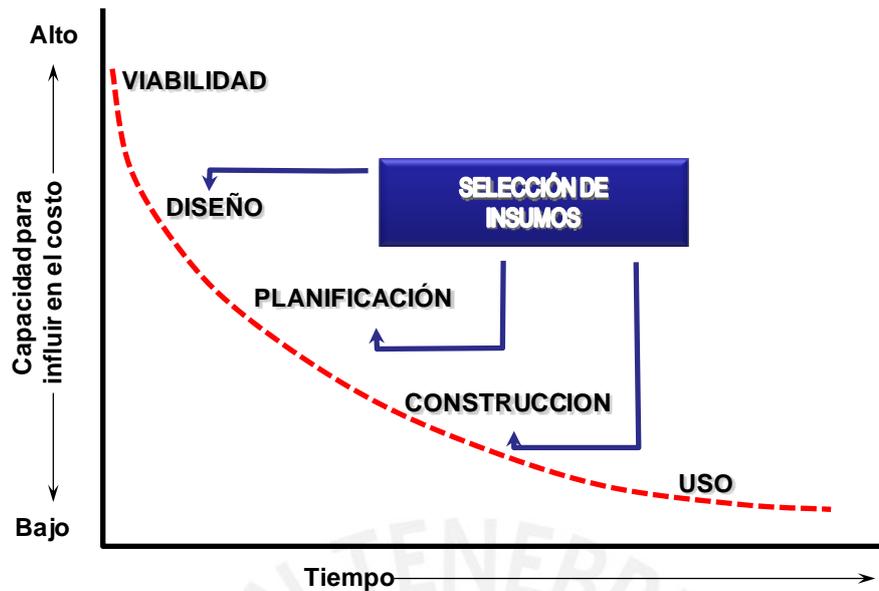


Figura 2. Adaptación Curva de influencia en Costos del Construction Industry Institue (Fuente Propia).

En la figura 2 se muestra que a medida que transcurre el tiempo es más difícil influir en el costo del proyecto por lo tanto es de suma importancia que los insumos sean definidos en la etapas tempranas como las de diseño y planeamiento. En cambio las definiciones durante la construcción no influirán de manera significativa ocasionando muchas veces ocasionarán mayores costos al proyecto.

#### 4.1.3.1 DECISIONES PARA LA SELECCIÓN DE INSUMOS ANTES DEL DISEÑO

Consiste en elegir aquellos insumos que influyen en el diseño del proyecto y por lo tanto en los planos del mismo. Este tipo de decisiones están relacionadas principalmente con la elección de los tipos de materiales a usar ya que son éstos los que influyen en la ingeniería de detalle del producto más no así la mano de obra o los equipos.

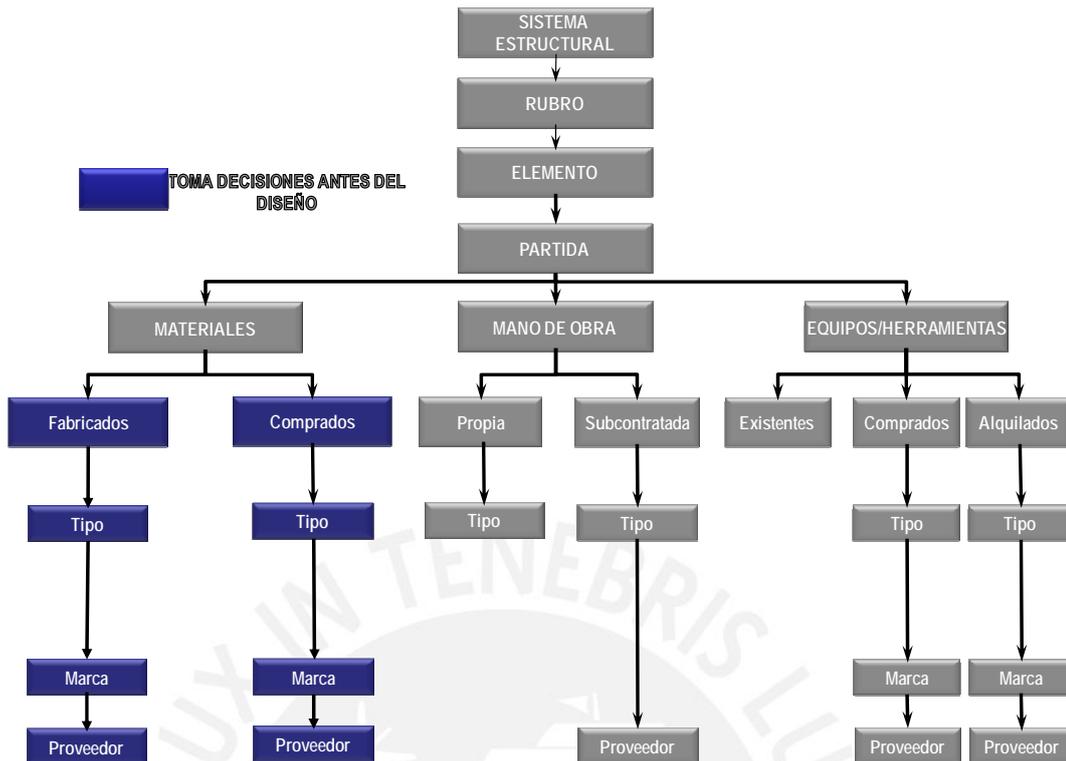


Figura3. Esquema de decisiones antes del diseño (Fuente Propia)

Básicamente los materiales que afectan al diseño de un producto son: **ladrillos, viguetas y acero (mallas electrosoldadas)**. Al tener varias opciones de ladrillos también se tendrán diferentes anchos lo cual afectará las áreas de los ambientes y además los pesos que se agreguen a la estructura serán diferentes. En el caso de las viguetas se debe considerar si se harán prefabricadas o se hará un aligerado convencional debido a que el diseño estructural cambiará de acuerdo con la elección hecha. Asimismo, se debe definir si se comprarán mallas electrosoldadas o se harán en obra puesto que sus esfuerzos de fluencia son distintos. Por lo tanto todos estos materiales deben ser considerados como datos de entrada para el diseño.

En la mayoría de los casos la definición de los materiales a emplear se hace después del diseño e inclusive cuando la obra está en marcha lo cual conlleva a que se vuelvan a calcular los planos de estructuras, es decir a hacer un retrabajo.

### 4.1.3.2 DECISIONES PARA LA SELECCIÓN DE INSUMOS DURANTE LA PLANIFICACIÓN

Son el tipo de decisiones necesarias para definir un presupuesto, aquí sí se decide sobre los tres tipos de insumos (materiales, mano de obra y equipos) los cuales nos determinan los costos unitarios de las partidas y algunos parámetros para la programación.

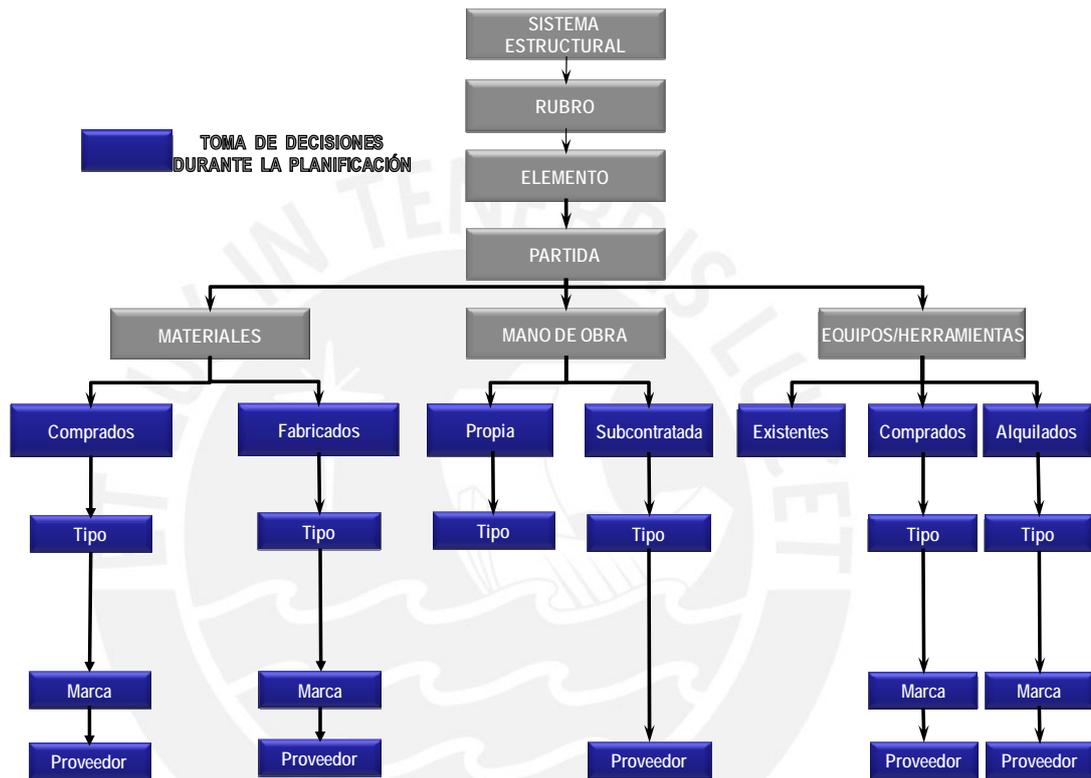


Figura 4. Esquema de decisiones durante la planificación (Fuente Propia)

El objetivo de este tipo de decisión es definir exactamente todos los insumos de la partida y asegurarnos que los proveedores que se escojan sean finalmente con los que se trabaje durante la obra. En otras palabras asegurarnos de fijar con exactitud y claridad el presupuesto para que pueda ser cumplido en la ejecución del proyecto. Por lo tanto se debe precisar qué materiales, mano de obra y equipos/herramientas se emplearán.

En el caso de los materiales, como se mencionó, se debe determinar el origen del mismo (comprados o fabricados), tipo, marca y proveedor del material. Para la mano de obra también se debe decidir sobre el origen (propio o subcontratado) y escoger a esta última implica decidir sobre el tipo (subcontrato de mano de obra o a todo costo) así como al subcontratista. Por último para los equipos y herramientas

la decisión parte de establecer su origen (existente, alquilado o comprado), definir el tipo, marca y proveedor.

Como se observa son múltiples las decisiones a tomar lo cual puede llegar a volverse en algo tedioso por lo que muchas veces son dejadas de lado cuando se elabora un presupuesto y que tiene que decidir el constructor una vez que la obra está en marcha.

#### 4.1.3.3 DECISIONES PARA LA SELECCIÓN DE INSUMOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN

Anteriormente se habló acerca de las decisiones durante esta etapa y se mencionó que deberían ser hechas sólo cuando se producen factores externos que hacen que no se pueda cumplir con el presupuesto tal como las subidas de precios, falta de stock, etc.

Durante esta etapa los tipos de decisiones a tomar abarcan los tres tipos de insumos y al igual que en la sección anterior cubren decisiones que van desde el origen del insumo hasta la elección del proveedor.

Al comienzo de este capítulo se mencionó que las herramientas y técnicas del Lean Construcción y PMI fueron complementadas con la teoría de decisiones para proponer la metodología para la selección de insumos. Por lo tanto a continuación se explicará que es la teoría de decisiones.

#### 4.1.4 TEORÍA DE DECISIONES

La teoría de decisiones trata sobre el estudio de los procesos que hay que efectuar para la de toma de decisiones. Consiste en saber escoger gracias a conocimientos, habilidades técnicas adquiridas o a la experiencia entre varias alternativas para satisfacer las metas contenidas en una estrategia.

La decisión es efectiva o eficiente, cuando satisface en la totalidad, o al menos en un alto porcentaje, el objetivo o fin deseado (Toskano, 2005)

El proceso de toma de decisiones está conformado por un conjunto de pasos que nos ayudan a llegar a una decisión (Petrie, Stewart y demás, 2006):

A. Establecer las alternativas: plantear una lista de posibles alternativas.

- B. Determinar los criterios de evaluación: identificar los criterios que son importantes o relevantes para la toma de decisión. La elección de los criterios dependen de la persona que se está encargando de hacer la evaluación y deberían ser escogidos en función de las expectativas que se espera que cumplan las alternativas de tal manera que se evite la selección en base al sentimiento.
- C. Evaluar las alternativas: evaluar cada alternativa con respecto a los criterios propuestos.
- D. Elegir la mejor alternativa: se esoge la alternativa que cumpla mejor con los criterios.
- E. Ejecutar y evaluar la alternativa: se debe poner en práctica la solución y evaluar los resultados con respecto a los objetivos planteados. Esto servirá para conocer si se solucionó el problema y poder corregir las decisiones.



Figura 5. Pasos para la toma de decisiones (Fuente Propia)

La elección del mejor insumo en la construcción, es decir el que mejor se adecue a las necesidades del proyecto, no se debe basar únicamente en criterios como el precio del producto sino que también se deben considerar otros criterios como tiempo de entrega, adaptabilidad del producto, calidad del servicio, periodo de garantía, disponibilidad, etc. Por lo tanto es un problema de decisión que tiene múltiples criterios o en otras palabras es un tipo de problema de decisión multicriterio.

La decisión multicriterio implica escoger la mejor alternativa de entre un número finito de alternativas las cuales han sido previamente medidas con respecto a dos o

más criterios relevantes. Los elementos que conforman un problema de decisión multicriterio son<sup>1</sup>:

- Alternativas: número finito de alternativas identificadas.
- Criterios: que permiten evaluar a las alternativas mediante la asignación de pesos que reflejan importancia que el decisor le da a cada criterio.
- Matriz de decisión: que está definida por los criterios en las columnas y por las alternativas en las filas. Cada intersección de una fila con la columna representa la valoración que le da el decisor a la alternativa con respecto al criterio.

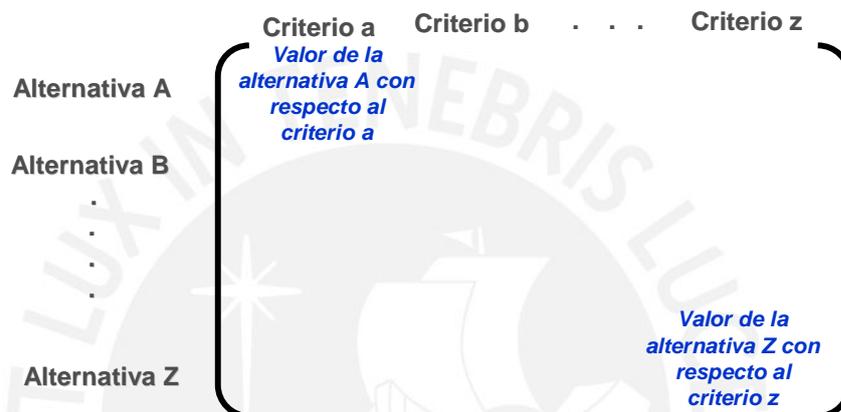


Figura 6. Esquema de una matriz de decisión (Fuente Propia)

La selección de la mejor alternativa no necesariamente significa la más óptima debido a que la elección estará sujeta a la preferencia del decisor, es decir la solución variará según la persona que esté realizando la evaluación puesto que no todos opinan igual. Por lo tanto este tipo de proceso de decisión no nos dará una solución única.

Existen diversos métodos de decisión multicriterio entre los que se tiene el método del Scoring, Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), Matriz de Pares, ELECTRE, PROMETHEE, Teoría de Utilidad Multiatributo, etc.

<sup>1</sup> Para mayor detalle revisar el documento Multiattribute Decision Analysis Method for Evaluating Buildings and Building Systems (NIST, 1995)

#### 4.1.5 METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE INSUMOS

De acuerdo a lo comentado anteriormente, muchas veces se selecciona las alternativas basándose en el menor precio olvidándose de otros criterios. Para evitar esta situación, el decisor o tomador necesita de una metodología que le permita evaluar diversas alternativas considerando ambos tanto a los criterios cualitativos como cuantitativos.

La metodología propuesta ofrece dos importantes ventajas: permite considerar en la evaluación de las alternativas a los criterios cualitativos evitando la toma de decisión en base a una “simple intuición” y además integran en las evaluaciones tanto a los criterios cualitativos como a los cuantitativos. Las tres partes fundamentales del método propuesto son:

- **Evaluación cuantitativa:** consiste en analizar datos o hechos mediante operaciones matemáticas. Para esta parte se evaluarán las alternativas usando costos directos como indirectos mediante el método propuesto por Shapira y Goldenberg (2005).
- **Evaluación cualitativa:** se basa principalmente en las experiencias y conocimientos que el decisor tiene acerca del tema en evaluación, muchas veces esta evaluación es hecha en la cabeza sin un procedimiento adecuado. Por lo tanto se propone un método de evaluación multicriterio que servirá de apoyo al decisor en el análisis de los criterios cualitativos.
- **Evaluación Integral:** como su nombre lo dice consiste en integrar los resultados de ambas evaluaciones previa homologación de las mismas. El procedimiento consiste en sumar los resultados homologados de las evaluaciones y la alternativa con el mayor puntaje es la elegida.

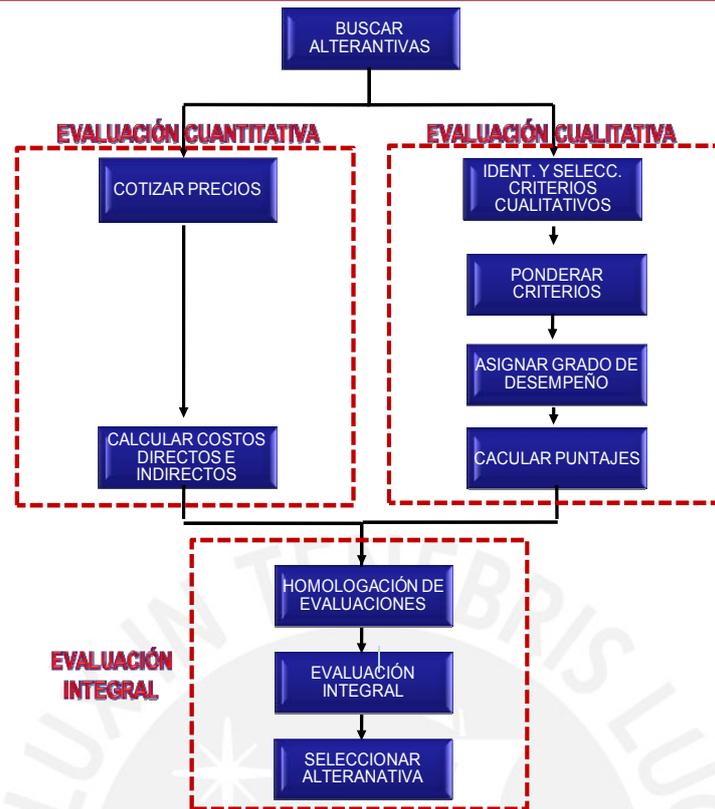


Figura 7. Metodología propuesta para la evaluación y selección de

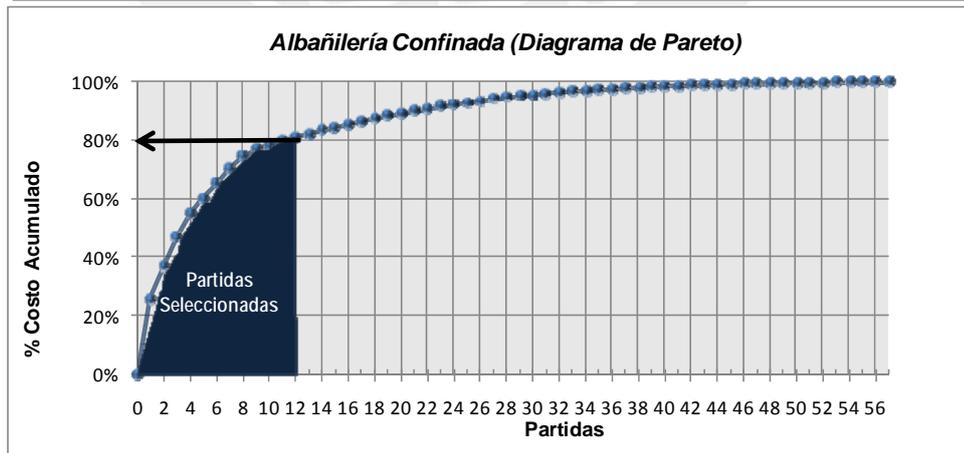
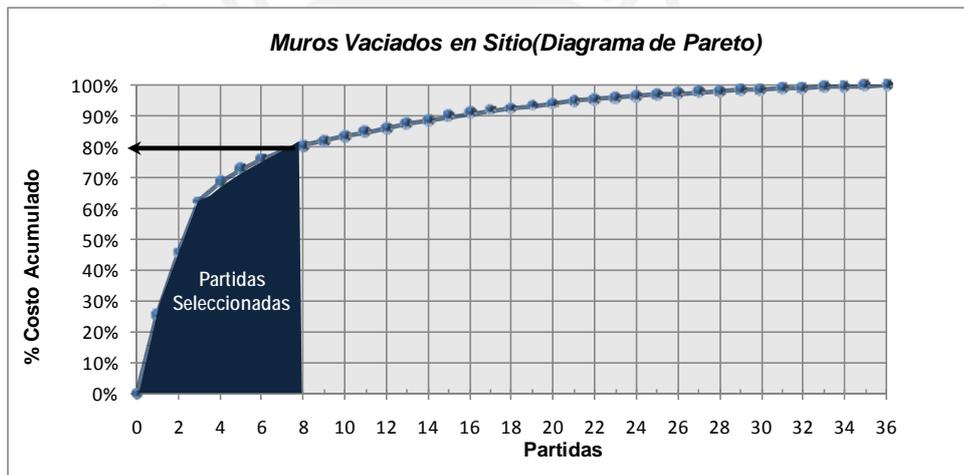
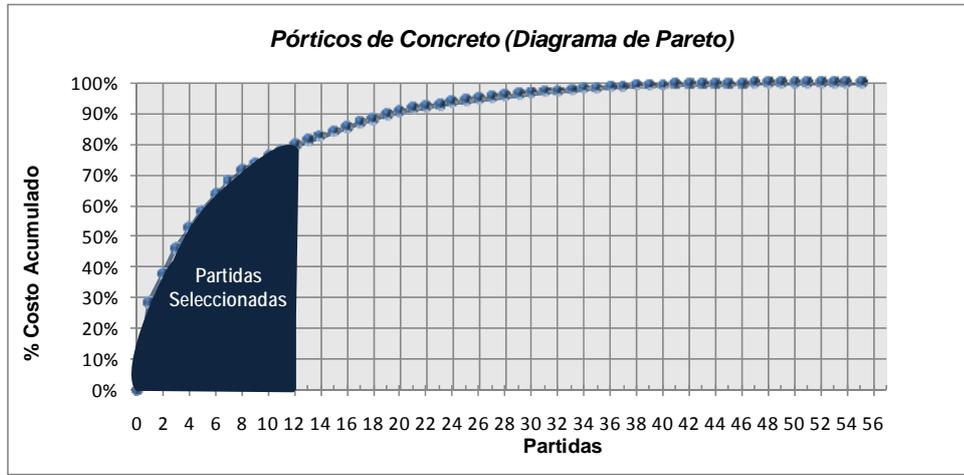
#### 4.1.5.1 BUSCAR ALTERNATIVAS

La búsqueda de alternativas implica investigar los diferentes productos o servicios que nos ofrece el mercado con la finalidad de tomar decisiones basadas en múltiples alternativas. La información necesaria se puede encontrar generalmente en páginas web, catálogos o contactándose con los mismos proveedores.

Durante esta etapa se deben descartar marcas o proveedores que no se adecuen a lo que la empresa está buscando o que no puedan abastecer a la empresa por falta de stock.

En esta parte se desarrollaron un listado de alternativas para las partidas más incidentes del rubro de estructuras que representan los tres tipos de sistemas estructurales (pórticos de concreto, muros vaciados en sitio y albañilería confinada). El procedimiento consistió en aplicar la herramienta Diagrama de Pareto a varios presupuestos de proyectos y posteriormente las partidas se determinaron a partir del promedio de los resultados obtenidos con el Diagrama de Pareto.

A continuación se presentan las partidas más incidentes, que dominan un 80% del presupuesto, para cada uno de los tres sistemas estructurales (Motiva S.A.):



Figuras 8, 9 y 10. Pareto de Sistemas Estructurales (Motiva S.A.)

SISTEMA	N°	PARTIDAS	%
			PARCIAL
Porticos de Concreto	1	Acero	29%
	2	Concreto columnas y placas	9%
	3	Concreto vigas y losa aligerada	8%
	4	Tabiquería	6%
	5	Viguetas Pretensadas	5%
	6	Ladrillo Losa Aligerada	5%
	7	Tarrajeo muro interior	4%
	8	Encofrado y desen. columnas y placas	4%
	9	Tarrajeo muro exterior	2%
	10	Tarrajeo cielorraso	2%
	11	Concreto columnetas	2%
	12	Encofrado y desen. Columnetas	2%
Muros Vacados en Sitio	1	Concreto muros y losa	25%
	2	Acero muros y losa	20%
	3	Encofrado muros y losa	16%
	4	Acero dimensionado en platea	6%
	5	Concreto platea	4%
	6	Solaqueo muros de concreto	3%
	7	Tabiquería	2%
	8	Tarrajeo interior	2%
Albañilería Confinada	1	Acero	26%
	2	Muros de ladrillo	11%
	3	Concreto losa maciza	10%
	4	Tarrajeo interior	8%
	6	Concreto columnas y placas	5%
	7	Concreto platea de cimentación	5%
	8	Encofrado y desen. columnas y placas	5%
	9	Tarrajeo exterior	4%
	10	Encofrado y desen. losa	3%
	11	Alfeizar	2%

Tabla 6. Pareto de partidas más incidentes según sistema estructural (Motiva S.A.)

A partir de los resultados obtenidos en los tres tipos de sistemas estructurales se escogieron un grupo de partidas que se repiten como los más incidentes. En base a éstas se proponen una serie de criterios a tomar en cuenta para elegir la mejor alternativa.

N°	PARTIDAS SELECCIONADAS
1	Acero
2	Encofrado columnas y placas
3	Encofrado losa
4	Concreto columnas y placas
5	Concreto losa maciza
6	Concreto vigas y losa aligerada
7	Viguetas
8	Ladrillos Losa Aligerada
9	Concreto Platea de cimentación
10	Muros portantes de albañilería
11	Tabiquería de albañilería
12	Tarrajeo interior y exterior

Tabla 7. Partidas seleccionadas (Motiva S.A.)

Tal como se puede observar las partidas más incidentes para los tres tipos de sistema estructural son acero, encofrado, concreto, viguetas, ladrillos losa aligerada, muros portantes de albañilería, tabiquería de albañilería y tarrajeo. Cabe resaltar que se está considerando a las viguetas como una partida independiente debido a que los presupuestos analizados así la presentaban.

En la siguiente tabla se presentan las alternativas de insumos que se han encontrado en el mercado para las partidas seleccionadas. Este listado puede ser utilizado como una base de datos sobre el cual escoger las alternativas a evaluar.

N°	PARTIDA	RECURSO		ALTERNATIVAS	
1	Acero	Material	Acero	Convencional con varillas de 9 m Convencional con varillas de 12 m Piezas de acero pre-habilitado Mallas electrosoldadas (f'c=5,200 kg/cm <sup>2</sup> )	
			Alambre	Alambre N° 16 Alambre N° 18	
		Mano de obra	Obreros	En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo	
				Corte	Con arco de sierra Cizalla manual Cizalla eléctrica Cizalla de banco Disco de corte Cortadora eléctrica de varilla
		Equipos y Herramientas	Doblado	Con tubo y trampa Dobladora manual Dobladora electromecánica	
			Transporte	Polea Polipasto Winche doble balde Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil Grua torre con pluma horizontal Grua torre con pluma abatible Grua automontante Grúa móvil	
				Amarre	Tortol Bichiroque Alicate Wire twister Rebar tier gun Clincha Máquina eléctrica de amarre japonesa

N°	PARTIDA	RECURSO	ALTERNATIVAS	
2	Encofrado Columnas y Placas	Mano de obra	Obreros En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo	
		Equipos y Herramientas	Forma	Encofrado de Madera Encofrado de Acero Encofrado de Aluminio Encofrado Mixto
			Transporte	Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil Grua torre con pluma horizontal Grua torre con pluma abatible Grua automontante Grúa móvil
			Colocación	Con alambre N° 8 Con tirantes y grampas
3	Encofrado Losa	Mano de obra	Obreros En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo	
		Equipos y Herramientas	Forma	Encofrado de Madera Encofrado de Acero Encofrado de Aluminio Encofrado Mixto
			Transporte	Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil Grua torre con pluma horizontal Grua torre con pluma abatible Grua automontante Grúa móvil
			Colocación	Con alambre N° 8
4	Concreto Columnas y Placas	Material	Concreto Preparado en obra Predosificado en bolsa Premezclado convencional Premezclado aditivado	
		Mano de obra	Obreros En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo	

N°	PARTIDA	RECURSO	ALTERNATIVAS	
4	Concreto Columnas y Placas	Equipos y Herramientas	Mezclado	Mezcladora de trompo Hormigonera ligera Mezcladora de tolva Mezcladora planetaria Autohormigonera Planta dosificadora móvil Planta dosificadora estacionaria
			Transporte	Buggy Chute (en sótanos) Polipasto Winche doble balde Buggy motorizado Faja transportadora Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil Torre concretera Bomba con pluma de distribución Bomba estacionarias Grua torre con pluma horizontal Grua torre con pluma abatible Grua automontante Grúa móvil
			Compactado	Vibrador gasolinero Vibrador eléctrico Vibrador de contacto
			Acabado	Frotacho
5	Concreto Losa Maciza	Material	Concreto	Preparado en obra Predosificado en bolsa Premezclado convencional Premezclado aditivado
		Mano de obra	Obreros	En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo
		Equipos y Herramientas	Mezclado	Hormigonera ligera Mezcladora de trompo Mezcladora de tolva Mezcladora planetaria Autohormigonera Planta dosificadora móvil Planta dosificadora estacionaria
Transporte	Buggy Chute (en sótanos) Polipasto Winche doble balde Buggy motorizado Faja transportadora Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil Torre concretera Bomba con pluma de distribución Bomba estacionarias Grua torre con pluma horizontal Grua torre con pluma abatible Grua automontante Grúa móvil			

N°	PARTIDA	RECURSO	ALTERNATIVAS	
5	Concreto Losa Maciza	Equipos y Herramientas	Compactado Vibrador gasolinero Vibrador eléctrico Vibrador de contacto Regla vibradora	
			Acabado Frotacho Alisadora de aspa Enradora de concreto	
6	Concreto Vigas y Losa Aligerada	Material	Concreto Preparado en obra Predosificado en bolsa Premezclado convencional Premezclado aditivado	
		Mano de obra	Obreros En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo	
		Equipos y Herramientas	Mezclado	Hormigonera ligera Mezcladora de trompo Mezcladora de tolva Mezcladora planetaria Autohormigonera Planta dosificadora móvil Planta dosificadora estacionaria
			Transporte	Buggy Chute (en sótanos) Polipasto Winche doble balde Buggy motorizado Faja transportadora Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil Torre concretera Bomba con pluma de distribución Bomba estacionarias Grua torre con pluma horizontal Grua torre con pluma abatible Grua automontante Grúa móvil
			Vibrado	Vibrador gasolinero Vibrador eléctrico Vibrador de contacto Regla vibradora
			Acabado	Frotacho Alisadora de aspa Enradora de concreto
7	Viguetas	Material	Viguetas Vaciadas en obra Prefabricadas en obra Prefabricadas Pretensadas	
		Mano de obra	Obreros En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo	

N°	PARTIDA	RECURSO	ALTERNATIVAS	
7	Viguetas	Equipos y Herramientas	Transporte	Polipasto Winche doble balde Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil Grua torre con pluma horizontal Grua torre con pluma abatible Grua automontante Grúa móvil
8	Ladrillo Losa	Material	Ladrillo	Arcilla Hueco Tecnopor
		Mano de obra	Obreros	En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo
		Equipos y Herramientas	Transporte	Polipasto Winche doble balde Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil Grua torre con pluma horizontal Grua torre con pluma abatible Grua automontante Grúa móvil
9	Concreto Platea de Ciment.	Material	Concreto	Preparado en obra Predosificado en bolsa Premezclado convencional Premezclado aditivado
		Mano de obra	Obreros	En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo
		Equipos y Herramientas	Mezclado	Hormigonera ligera Mezcladora de trompo Mezcladora de tolva Mezcladora planetaria Autohormigonera Planta dosificadora móvil Planta dosificadora estacionaria
			Transporte	Buggy Chute (en sótanos) Buggy motorizado Faja transportadora Bomba con pluma de distribución Bomba estacionarias
			Vibrado	Vibrador gasolinero Vibrador eléctrico Vibrador de contacto Regla vibradora
			Acabado	Frotacho Alisadora de aspa Enradora de concreto

N°	PARTIDA	RECURSO	ALTERNATIVAS	
10	Muros Portantes de Albañilería	Material	Ladrillo	Arcilla Hueco Concreto Sílico calcáreo
			Mortero	Hecho en obra Predosificado en bolsa Premezclado
		Mano de obra	Obreros	En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo
				Mezclado
		Equipos y Herramientas	Transporte	Buggy Carrito ladrillero Polipasto Winche doble balde Buggy motorizado Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil
				Colocación
		11	Tabiquería de Albañilería	Material
Mortero	Hecho en obra Predosificado en bolsa Premezclado			
Mano de obra	Obreros			En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo
				Mezclado
Equipos y Herramientas	Transporte			Buggy Carrito ladrillero Polipasto Winche doble balde Buggy motorizado Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil
				Colocación

N°	PARTIDA	RECURSO	ALTERNATIVAS	
12	Tarrajeo Interior y Exterior	Material	Mortero	Hecho en obra Predosificado en bolsa Premezclado
		Mano de obra	Obreros	En planilla con rendimiento mínimo En planilla con tareo En planilla con tareo más demasía Subcontrato de mano de obra Subcontrato a todo costo
		Equipos y Herramientas	Mezclado	Hormigonera ligera Mezcladora de trompo Batidores de batea Taladro para amasar mortero
			Transporte	Buggy Polipasto Winche doble balde Buggy motorizado Elevador de plataforma Elevador de plataforma articulado Montacarga Plataforma elevadora sobre monomástil Plataforma elevadora sobre bimástil
			Colocación	Gunitadora por vía seca Gunitadora por vía húmeda Andamio Convencional Andamio Colgante Eléctrico Andamio Multidireccional

Tabla 8. Listado de alternativas de insumos para cada una de las partidas seleccionadas (Fuente Propia)

#### 4.1.5.2 EVALUACIÓN CUANTITATIVA

##### A. Cotizar Precios

Como su nombre lo dice se refiere a solicitar a los proveedores los precios de las alternativas a evaluar.

##### B. Evaluar Costos Directos e Indirectos

Implica analizar los costos directos e indirectos que pueda tener la alternativa. Por ejemplo, si se analiza la compra de los equipos los costos no sólo deben incluir el precio del equipo sino también el costo de operación, mantenimiento, depreciación, etc. En el caso de equipos como por ejemplo retroexcavadoras o grúas torre se deberían evaluar sus costos usando indicadores económicos como el TIR y VAN

#### 4.1.5.3 EVALUACIÓN CUALITATIVA

##### A. Identificar y Seleccionar Criterios Cualitativos

Un elemento importante para el proceso de toma de decisiones es la definición adecuada de los criterios de decisión debido a que de éstos dependen en gran parte el éxito de la evaluación.

Los criterios cualitativos son aquellos que no se pueden cuantificar en términos monetarios pero que son igualmente de importantes para la toma de decisiones. Entre los que se tiene están: calidad, plazo de entrega, servicio post-venta, etc.

Como parte del desarrollo de esta tesis se plantea una serie de criterios cualitativos las partidas seleccionadas anteriormente que facilitará el proceso de toma de decisiones. Estos criterios servirán como una especie de catálogo para que el decisor sepa que criterios se deben considerar en cada caso; sin embargo, los criterios no deben limitarse a los presentados puesto que pueden agregarse otros de acuerdo a lo que el decisor considere necesario. Las celdas con plomo indican los criterios que se deben tomar en cuenta para la evaluación de las alternativas.





## B. Ponderar Criterios

Consiste en valorar la importancia relativa que tienen los criterios antes los ojos del decisor. Para realizar esta ponderación se han propuesto usar tres métodos multicriterios:

- a) *Método de Ponderación Lineal o Scoring*
- b) *Método de Comparación de Pares*
- c) *Proceso de Análisis Jerárquico o Analytical Hierarchy Process (AHP).*

Cabe resaltar que estos métodos también pueden servir para definir el grado de desempeño y para evaluar las alternativas; sin embargo, para la metodología propuesta, sólo se están considerando en la determinación de los pesos de los criterios. A continuación se hará una breve descripción del procedimiento de cada método:

### a) Método de Ponderación Lineal o del Scoring:

Es uno de los métodos de decisión multicriterio más utilizado que permite identificar de manera rápida la mejor alternativa. El objetivo es calcular el score o puntaje para cada alternativa para lo cual se siguen los siguientes pasos:

- Asignación de importancia para cada criterio:

El decisor asigna directamente el peso para cada criterio usando una escala que más le convenga. La escala más común es la que va del 1 al 5, es decir de muy poca importancia a mayor importancia.

- Cálculo de los pesos de los criterios:

Una vez asignado la importancia a cada criterio lo que queda es calcular los pesos y simplemente es dividir la importancia del criterio entre la suma de todas las importancias.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Menor -----> Mayor importancia

CRITERIO	IMPORTANCIA	PESO
A	1	0.10
B	4	0.30
C	5	0.40
D	3	0.20
	$\Sigma$ 10	1.0

Ejemplo 1. Cálculo de pesos usando Scoring

b) Método de Comparación de Pares:

Este método a pesar de no ser considerado como un método de decisión multicriterio puede ser usado en el tipo de problemas multicriterio o en otras palabras problemas con un número limitado de alternativas pero con un número considerable de criterios.

- Comparación de criterios:

Los criterios son colocados en una matriz donde sólo será necesario completar las casillas que se encuentran encima de la diagonal debido a que los que están debajo son el espejo de los de arriba.

Se van comparando criterio contra criterio y se responde: ¿cuál criterio es más importante? En cada casilla se colocará el criterio o una letra representativa del criterio más importante; o también se pueden colocar ambos criterios si son igualmente importantes.

- Cálculo de los pesos de los criterios:

Una vez completada la matriz se calcula la frecuencia en que se repite cada criterio y la suma total de todas las frecuencias. Posteriormente el peso es la división entre la frecuencia de cada criterio y la suma de las frecuencias.

	Criterio A	Criterio B	Criterio C	Criterio D
Criterio A		Criterio A	Criterio C	Criterio D
Criterio B			Criterio B	Criterio B
Criterio C				Criterio D
Criterio D				

CRITERIO	IMPORTANCIA	PESO
A	1	0.20
B	2	0.30
C	1	0.20
D	2	0.30
$\Sigma$	6	1.0

Ejemplo 2. Cálculo de pesos usando Matriz de Pares

c) Proceso de Análisis Jerárquico (AHP):

Este método fue creado por Thomas Saaty y desde entonces ha sido aplicado en varios problemas de decisión tales como: resolución de conflictos, problemas tecnológicos y problemas económicos-gerenciales (Saaty, 1990).

El AHP mediante un modelo jerárquico organiza toda la información referente a un problema que permite analizarlo por partes o en otras palabras el método es acerca de descomponer un problema y luego unir las soluciones de todos los subproblemas en una conclusión (Saaty, 1994). La solución se obtiene mediante el establecimiento de prioridades entre las partes del problema para lo cual se usa una escala que representa en números los juicios del decisor. Se puede dividir en las siguientes pasos:

- Construcción de la Jerarquía:

Un paso fundamental es la estructuración de la jerarquía del problema debido a que tiene una influencia significativa en el resultado final. Una jerarquía está compuesta por objetivos y criterios. La jerarquía va en orden descendente donde en el parte superior se encuentra el objetivo, en el intermedio los criterios y en el inferior pueden ir hasta subcriterios si fuera necesario.



Figura 11. Elementos para la toma de decisiones según AHP (Fuente Propia)

- Comparación y emisión de juicios sobre criterios:

El siguiente paso son los juicios y las comparaciones, es decir el proceso de priorización de los elementos que componen la jerarquía del problema.

Un juicio es hecho sobre un par de elementos con respecto a una propiedad que tienen en común y lo que se estima es cuánto más importante, preferible o dominante es un elemento sobre el otro para lo cual se usa la escala Fundamental del AHP.

En este paso se comparan los criterios con respecto al objetivo planteado para determinar la importancia de cada uno. Cuando se comparan dos elementos el decisor debe responder dos preguntas: ¿Cuál de los elementos es más importante con respecto a una propiedad y cuánto más? Para resolver esta última pregunta se usa la escala fundamental de Saaty la cual va de 1 a 9.

GRADO DE IMPORTANCIA		DEFINICIÓN
NUMERICO	VERBAL	
1	Igual importancia	Dos elementos contribuyen de igual forma
3	Moderada importancia	Experiencia y juicio favorecen moderadamente un elemento sobre el otro
5	Fuerte importancia	Experiencia y juicio favorecen fuertemente un elemento sobre el otro
7	Muy fuerte importancia	Experiencia y juicio favorecen muy fuertemente un elemento sobre el otro
9	Extrema importancia	Experiencia y juicio favorecen extremadamente un elemento sobre el otro. Prácticamente uno excluye al otro
2,4,6,8	Valores intermedios	Cuando los números anteriores no expresan adecuadamente la importancia
Para la reciprocidad se usan los valores inversos de los números anteriores		

Tabla 10. Escala fundamental de Saaty (Saaty, 1994)

El resultado de estas comparaciones se coloca en una matriz denominada “Matriz de Comparación de Pares”. La matriz tiene como propiedades la identidad y reciprocidad. La primera se refiere a que en la diagonal de la matriz el valor siempre

será 1 debido a que el elemento siempre es igual de importante que si mismo. La segunda propiedad hace referencia a que los valores debajo de la diagonal son los inversos a los que se encuentran encima con lo cual sólo basta llenar un lado de la diagonal.

Hay que recordar que la Escala de Saaty sólo indica cuánto más importante es un elemento sobre otro mas no señala cuán menos importante es un elemento sobre otro. Además, puesto que en la matriz se coloca la importancia que tienen los elementos de las filas sobre las columnas se debe recalcar que si el elemento de la columna es más importante que el de la fila entonces se usará el valor inverso de la escala.

	Elemento 1	Elemento 2	...	...	Elemento n
Elemento 1	1	<i>Importancia del elemento 1 con respecto al elemento 2</i>	...	...	<i>Importancia del elemento 1 con respecto al elemento n</i>
Elemento 2	<i>Importancia del elemento 2 con respecto al elemento 1</i>	1	...	...	<i>Importancia del elemento 2 con respecto al elemento n</i>
...	...	...	1	...	...
...	...	...	...	1	...
Elemento n	<i>Importancia del elemento n con respecto al elemento 1</i>	<i>Importancia del elemento n con respecto al elemento 2</i>	...	...	1

Tabla <sup>2</sup> 11. Matriz de comparación de Pares (Saaty, 1994).

Una vez completada la matriz se calculan los pesos o importancias que tienen los criterios con respecto al objetivo.

Para obtener el peso en una matriz primero se debe normalizar todos los valores de cada columna con lo cual se obtiene una matriz normalizada posteriormente se calcula el promedio de cada fila en la matriz.

<sup>2</sup> Las celdas en blanco deberán ser completadas por el decisor.

Un aspecto importante a tener en cuenta en esta parte es el cálculo de la razón de Consistencia (CR) que permite controlar que los juicios emitidos por el decisor sean coherentes. El valor del CR debe ser menor a 10% para que los resultados obtenidos en cada matriz sean aceptables.

❖ **Encuesta sobre selección de método de evaluación cualitativa:**

Debido a que se cuentan con diferentes procedimientos para obtener las ponderaciones de los criterios, se hizo una pequeña encuesta dirigida a un grupo de ingenieros civiles y arquitectos relacionados con el sector de construcción para que determinaran que método les parece el más adecuado.

- Objetivo:

Determinar el método de evaluación cuantitativa que mejor se adapte a las necesidades de las personas que deberán tomar decisiones para el abastecimiento en el sector construcción.

- Tamaño de la Muestra:

Se realizó un total de 30 encuestas dirigidas a ingenieros civiles y arquitectos relacionados con el sector construcción.

- Procedimiento Empleado:

A los encuestados se les planteó un problema de decisión para que lo resolvieran mediante los tres métodos presentados anteriormente (AHP, Scoring, Matriz de comparación de pares) con la finalidad de que conocieran el procedimiento de cada uno y determinaran cuál es el que mejor se adapta a sus necesidades.

El problema de decisión consistía en determinar cuál era la mejor alternativa de concreto para su proyecto a partir de tres criterios, es decir determinar la alternativa más adecuada pero sólo a nivel cualitativo.

El siguiente esquema resume el problema de decisión presentado a los encuestados.

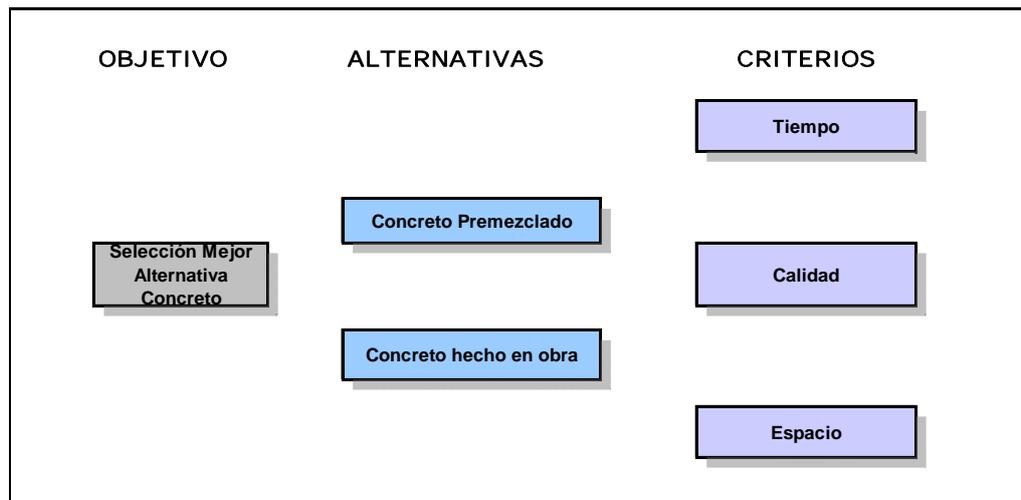


Figura 12. Esquema del Problema Planteado

Resultados Obtenidos:



Figura 13. Resultado de métodos elegidos

Como se observa el método que mayoritariamente fue elegido (53%) para ser empleado es el Método del Scoring o de Ponderación Lineal, seguido del AHP con un 30% y en último lugar de preferencias se encuentra el de Comparación de Pares con un 10%. Las razones expuestas por los encuestados para escoger el Método del Scoring se pueden resumir en: “es un método fácil de usar, directo y simple”.



Figura 14. Resultado de métodos no elegidos

El método que no usarían los encuestados es el AHP con un 47% que es seguido de la Comparación de Pares con un 30% y finalmente el método del Scoring con 23%.

Las razones para no seleccionar el método AHP se pueden resumir en: “método complejo y que requiere un nivel de fineza en las respuestas que es difícil de precisar”

A pesar que la muestra analizada resulta pequeña permite tener indicios sobre las preferencias de ingenieros civiles y arquitectos. Por este motivo se puede establecer que el procedimiento más adecuado es el **Método del Scoring**, es entonces que se plantea usar dicho método.

### C. Asignar el Grado de Desempeño

Consiste en establecer una escala verbal del desempeño, luego el decisor le da un equivalente numérico y por último se calculan sus pesos. Las escalas usadas son variables dependiendo del grado de fineza que el decisor quiera dar como respuesta.

ESCALA VERBAL	ESCALA NUMÉRICA
Bueno	3
Regular	2
Malo	1

Ejemplo 3. Construcción escala para evaluación del desempeño

Una vez que se tienen los pesos de la escala del desempeño, se le asigna un nivel de desempeño a cada alternativa con respecto a cada criterio.

#### D. Calcular el Puntaje

Consiste en determinar cual es el puntaje que obtiene cada alternativa para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$S_j = \sum w_i r_{ij}$$

Donde:  $S_j$  = puntaje de la alternativa  $j$

$w_i$  = peso de cada criterio  $i$

$r_{ij}$  = evaluación de la alternativa  $j$  con respecto a cada criterio  $i$

#### 4.1.5.4 EVALUACIÓN INTEGRAL

##### A. Homologación de evaluaciones

Los resultados obtenidos de la evaluación cuantitativa y cualitativa están en unidades diferentes, el primero está expresado en moneda y el segundo en puntaje. Por lo tanto es necesario homologar o normalizar los resultados de tal manera que se tengan en las mismas unidades, para esto tenemos dos opciones:

- *Pasar el resultado cualitativo a moneda:* se tendría que estimar los costos de los criterios para cada alternativa lo cual es difícil.
- *Pasar el resultado cuantitativo a puntaje:* es mucho más fácil porque existen métodos para poder realizarlo. Esta opción es la que se va a emplear.

Por lo tanto se pasaran los costos a puntajes para lo cual se usará la propuesta de Shapira y Goldemberg (2005) que consiste en el cálculo de una incidencia inversa que refleja la tendencia que tienen las personas a favorecer las alternativas con menor costo por lo que a mayor costo menor será el puntaje.

$$\text{Punt. Normalizado}_n = \frac{1/\text{Costo}_n}{1/\text{Costo}_1 + 1/\text{Costo}_2 \dots + 1/\text{Costo}_n}$$

En cuanto a los resultados de la evaluación cualitativa estos se homologarán mediante el cálculo de sus incidencias directas.

$$\text{Punt. Normalizado}_n = \frac{\text{Puntaje}_n}{\text{Puntaje}_1 + \text{Puntaje}_2 \dots + \text{Puntaje}_n}$$

## B. Evaluación Integral

Este es el último paso que nos determinará que alternativa es la más conveniente y simplemente consiste en sumar los puntajes de la evaluación cualitativa y el puntaje homologado de la evaluación cuantitativa. La alternativa con el mayor puntaje es la que se deberá escoger.

### 4.1.6 EJEMPLOS DE APLICACIÓN

En esta parte de la tesis se centra en la aplicación del método de decisión propuesto para dos casos reales, el primero corresponde a la elección de un sistema de encofrado y el segundo a la elección a la mejor opción para trabajar con acero.

#### 4.1.6.1 ANÁLISIS DE DECISIÓN SOBRE UN SISTEMA DE ENCOFRADO:

El caso de estudio se desarrolla en un terreno de 3,034 m<sup>2</sup>, ubicado en el distrito de Surco. Este proyecto consiste en un conjunto multifamiliar de cinco bloques cada uno de los cuales tiene cinco pisos, un total de 75 departamentos y un área construida de 5,902 m<sup>2</sup>. La estructura está compuesta por una platea de cimentación, muros



Foto 1. Vista del Proyecto (Cortersía Constructora Toscana S.A.C.)

y losas de concreto armado, es decir su sistema estructural es de Muros Vaciados en Sitio.

Debido a la cantidad de departamentos del proyecto se planteó la idea de comprar un juego de encofrado modulado para los muros de un departamento que rotaría por todos los demás departamentos. La empresa UNISPAN, proveedor de encofrados, ofreció dos productos: Encofrado a Dos Caras ALLSTEEL y un nuevo producto denominado ALUFORM.

Dicha empresa ofrece dos tipos de servicios, el alquiler y la venta de encofrados. El sistema de encofrado a Dos Caras ALLSTEEL puede obtenerse mediante cualquiera de estas dos opciones; sin embargo el encofrado ALUFORM solo se ofrece bajo venta debido a que es un producto que recién está ingresando en el mercado.

Por tal motivo para resolver este problema se tenía que pasar por dos fases de decisión:

- *Fase 1: Decidir entre comprar el sistema ALLSTEEL o ALUFORM.*
- *Fase 2: Decidir entre comprar o alquilar ALLSTEEL.*

La primera fase se refiere a comparar cuál de los dos sistemas es mejor y en el caso que se tenga como resultado el ALLSTEEL se tiene que pasar a una segunda fase donde se evalúe si es mejor comprarlo o alquilarlo.

- ***Fase 1: ¿ALLSTEEL O ALUFORM?***

A continuación se desarrollará la metodología propuesta para la toma de decisiones tal como se planteó en la sección 4.1.5.

- Buscar Alternativas y Cotizar Precios:

Se presenta un resumen de las características de cada sistema proporcionadas por el proveedor

	ALUFORM	ALLSTEEL
<b>Material</b>	Aluminio	Acero
<b>Peso (kg/m<sup>2</sup>)</b>	18	31
<b>Dimensiones</b>	2.40 m de alto 0.90 m de ancho 3 mm de espesor	2.40 m de alto 0.60 m de ancho 3 mm de espesor
<b>Usos</b>	1000	800
<b>Costo</b>	187,123	139,821
<b>Forma de Pago</b>	50% y 50% contraentrega	50% y 50% contraentrega
<b>Tiempo de entrega (día)</b>	45-60	30

- Evaluar costos directos e indirectos:

En la comparación de ambas alternativas, a nivel cuantitativo, se ha considerado que es mejor hacerlo usando el costo por m<sup>2</sup> ejecutado en obra debido a que reflejará mejor el costo que realmente se pagará por el encofrado. Para la determinación del costo se ha considerado el número máximo de usos y los m<sup>2</sup> de encofrado cotizado:

COSTO COMPRA ALUFORM		
Costo Total	S/.	187,124
Nº usos máximo	uso	1000
Área	m <sup>2</sup>	164
Costo por uso	S/.xm <sup>2</sup> xuso	<b>1.14</b>

COSTO COMPRA ALLSTEEL COMPRA		
Costo Total	S/.	139,821
Nº usos máximo	uso	800
Área	m <sup>2</sup>	164
Costo por uso	S/.xm <sup>2</sup> xuso	<b>1.07</b>

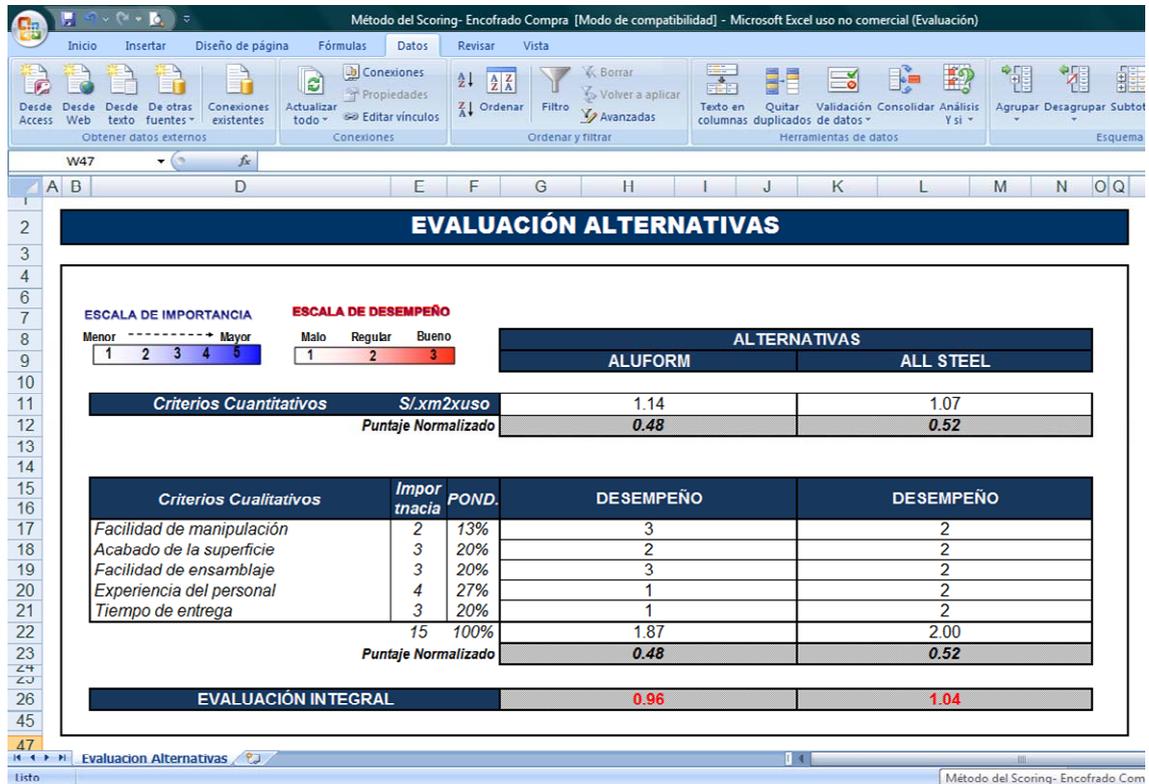
- Identificar y seleccionar criterios cualitativos:

La selección de criterios fue hecha en base a la tabla propuesta en la sección 4.1.5 teniendo en cuenta la información proporcionada por el proveedor así como las necesidades del cliente. Asimismo para orientar en la evaluación de las alternativas se desarrolló un cuadro donde se muestra la información encontrada para cada criterio cualitativo.

CRITERIOS CUALITATIVOS	ALUFORM	ALLSTEEL
Facilidad de manipulación	Más fácil porque pesa 18 kg/m <sup>2</sup>	Más difícil porque pesa 31 kg/m <sup>2</sup>
Acabado de la superficie	No requiere solaqueo	Si requiere solaqueo
Facilidad de ensamblaje	Menor tiempo tiene menos piezas	Mayor tiempo
Experiencia del personal	Ninguna	Todas las obras
Tiempo de entrega	45-60 días	30 días

- Evaluar y Seleccionar las Alternativas

Para hacer la evaluación de las alternativas más sistematizada se creó una plantilla en Excel donde se presentan las evaluaciones cualitativas, cuantitativas y el resultado final.



EVALUACIÓN ALTERNATIVAS						
<b>ESCALA DE IMPORTANCIA</b> Menor ----- Mayor 1 2 3 4 5		<b>ESCALA DE DESEMPEÑO</b> Malo Regular Bueno 1 2 3		<b>ALTERNATIVAS</b> ALUFORM ALL STEEL		
<b>Criterios Cuantitativos</b>		<i>Sl.xm2xuso</i>		1.14	1.07	
		Puntaje Normalizado		0.48	0.52	
<b>Criterios Cualitativos</b>	<b>Impor tancia</b>	<b>POND.</b>	<b>DESEMPEÑO</b>		<b>DESEMPEÑO</b>	
Facilidad de manipulación	2	13%	3		2	
Acabado de la superficie	3	20%	2		2	
Facilidad de ensamblaje	3	20%	3		2	
Experiencia del personal	4	27%	1		2	
Tiempo de entrega	3	20%	1		2	
		15 100%	1.87		2.00	
		Puntaje Normalizado	0.48		0.52	
<b>EVALUACIÓN INTEGRAL</b>			0.96		1.04	

La evaluación final nos arroja que el mejor sistema de encofrado es el **ALL STEEL**. Por lo tanto se tendrá que pasar a la fase 2.

- **Fase 2: ¿Alquilar o comprar ALL STEEL?**

- Buscar Alternativas y Cotizar Precios:

Se presenta un resumen de las características de cada sistema proporcionadas por el proveedor:

	ALLSTEEL ALQUILER	ALLSTEEL COMPRA
		
<b>Material</b>	Acero	
<b>Peso (kg/m<sup>2</sup>)</b>	31	
<b>Dimensiones</b>	2.40 m de alto 0.60 m de ancho 3 mm de espesor	
<b>Usos</b>	800	
<b>Costo (S/.)</b>	S/.8740 mensual	139,821
<b>Forma de Pago</b>	Pagos quincenales	50% y 50% contraentrega
<b>Plazo de entrega (días)</b>	30	

- Evaluar costos directos e indirectos:

Al igual que en la fase 1 los costos se calcularán como m<sup>2</sup> ejecutado en obra. Para poder estimar el costo por uso, en el caso de la alternativa de alquiler, se ha considera que mensualmente se usa 24 veces.

COSTO COMPRA ALLSTEEL COMPRA		
Costo Total	S/.	139,821
Nº usos máximo	uso	800
Usos mensual	uso	24
Área	m <sup>2</sup>	164
Costo por uso	S/./xm <sup>2</sup> xuso	<b>1.07</b>

COSTO ALLSTEEL ALQUILER		
Costo Total	S/.	8,740
Nº usos máximo	uso	-
Usos mensual	uso	24
Área	m <sup>2</sup>	229
Costo por uso	S/./xm <sup>2</sup> xuso	<b>1.59</b>

- Identificar y seleccionar criterios cualitativos:

CRITERIOS CUALITATIVOS	ALLSTEEL COMPRA	ALLSTEEL ALQUILER
Condiciones de pago	Un desembolso fuerte	Desembolsos quincenales
Espacio para almacenamiento	Requiere un espacio para almacenar cuando no se use en	No se requiere
Disponibilidad	Inmediata, siempre está a la mano	Depende del stock del proveedor
Superficie a cubrir	Sólo se tendrían 164 m <sup>2</sup>	Se alquila lo que se necesite
Rotación	Hay que asegurar obras a mediano plazo para cubrir el costo de la	No hay que rotar

- Evaluar y Seleccionar las Alternativas

EVALUACIÓN ALTERNATIVAS					
ESCALA DE IMPORTANCIA		ESCALA DE DESEMPEÑO		ALTERNATIVAS	
Menor	Mayor	Malo	Bueno	ALL STEEL COMPRA	ALL STEEL ALQUILER
1	5	1	3		
<b>Criterios Cuantitativos</b>					
Puntaje Normalizado				1.07	1.59
				0.60	0.40
Criterios Cualitativos	Importancia	POND.	DESEMPEÑO	DESEMPEÑO	
Condiciones de pago	5	29%	1	3	
Espacio para almacenamiento	4	24%	1	3	
Disponibilidad	2	12%	3	2	
Superficie a cubrir	2	12%	1	2	
Rotación	4	24%	1	3	
			1.24	2.76	
Puntaje Normalizado			0.31	0.69	
<b>EVALUACIÓN INTEGRAL</b>				0.91	1.09

Como se observa la alternativa con mayor puntaje es el **ALLSTEEL bajo la modalidad de alquiler**. Por lo tanto es la que finalmente se escogió.

4.1.6.2 ANÁLISIS DE DECISIÓN SOBRE LA FORMA DE TRABAJO DEL ACERO

El caso de estudio se desarrolla en un terreno de 634 m<sup>2</sup>, ubicado en el distrito de Surquillo. Este proyecto consiste en un edificio multifamiliar de ocho pisos más un semisótano, un total de 34 departamentos y un área construida de 3,900 m<sup>2</sup>.

La estructura está compuesta por una zapatas y vigas de cimentación, pórticos de concreto y losas aligeradas, es decir su sistema estructural es de Pórticos de Concreto.

Para este proyecto se tuvo la necesidad de comparar el Acero Dimensionado contra el Acero



Foto 2. Vista del Proyecto (Cortersía Constructora Toscana S.A.C.)

en Varillas y ver que producto era el más adecuado para las satisfacer las necesidades de la obra.

Para resolver este problema se tenía que escoger entre dos alternativas: usar PIEZAS DE ACERO PRE-HABILITADO (ACEDIM) o ACERO CONVENCIONAL (VARILLAS 9 M). En ambos casos se dispuso que el proveedor tuviera que ser ACEROS AREQUIPA y la mano de obra sería subcontratada.



Foto3. Ferreros trabajando en la obra (Cortesía Constructora Toscana S.A.C.)

- Buscar Alternativas y Cotizar Precios:

	ACEDIM	CONVENCIONAL CON VARILLAS 9M
<b>Costo (S/.xkg)</b>	3.76	3.38
<b>Condiciones de pago</b>	50% y 50% contraentrega	dependerá del proveedor
<b>Tiempo de entrega</b>	de acuerdo a programación	de acuerdo a lo necesitado
<b>Asesoría al cliente</b>	Planos de detalle e instalación	Ninguna

- Evaluar costos directos e indirectos:

Para la evaluación de los costos se ha considerado el 7% de desperdicio del acero habilitado en obra así como los costos del subcontrato de la mano de obra.

	Insumo	Und	Cantidad	Precio	Parcial	Subtotal	Total
VARILLA ACEDIM	<u>Material</u>						<b>4.21</b>
	Fierro en varillas	Kg	1.00	3.76	3.76	<b>3.76</b>	
	<u>Mano de Obra</u>						
	Subcontrato colocación	Kg	1.00	0.45	0.45	<b>0.45</b>	
VARILLA S 9 M	<u>Material</u>						<b>4.27</b>
	Fierro en varillas	Kg	1.07	3.38	3.62	<b>3.62</b>	
	<u>Mano de Obra</u>						
	Subcontrato habilitación y colocación	Kg	1	0.65	0.65	<b>0.65</b>	

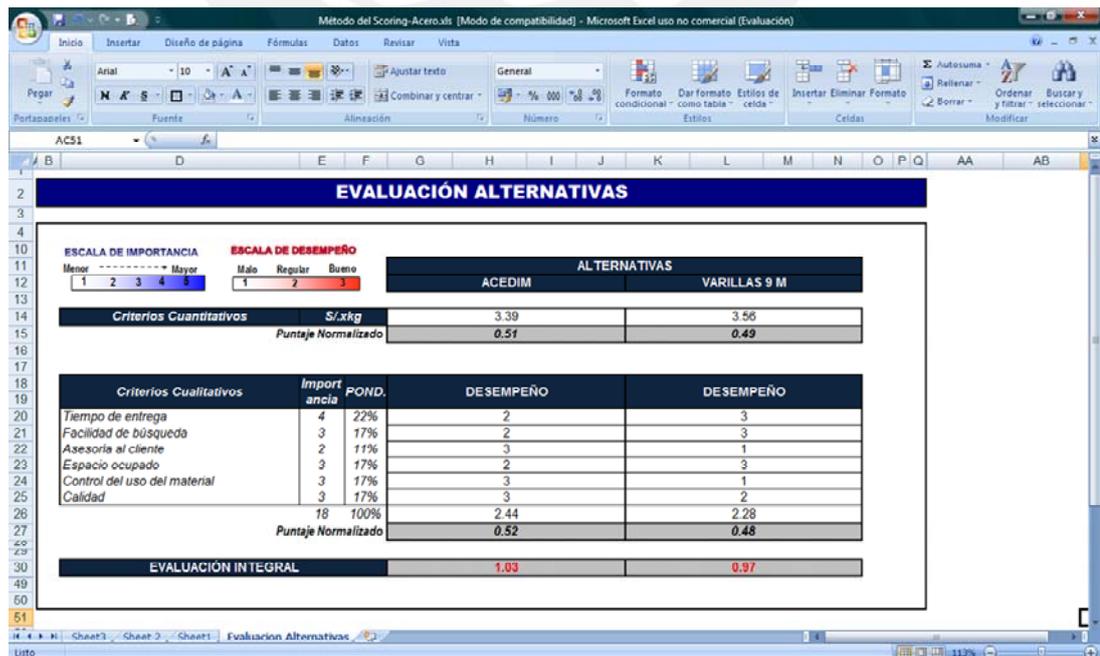
- Identificar y seleccionar criterios cualitativos:

La selección de criterios fue hecha en base a la tabla propuesta en la sección 4.1.5 teniendo en cuenta la información proporcionada por el proveedor así como las necesidades del cliente.

CRITERIOS CUALITATIVOS	ACEDIM	VARILLAS 9 M
Tiempo de entrega	De acuerdo a programación	Se obtiene en cualquier momento debido a que se puede comprar a distribuidores
Facilidad de búsqueda	Más lento si es que las piezas no están ordenadas en obra	Más rápido, sólo hay que buscar el diámetro de la varilla
Asesoría al cliente	Planos de detalle e instalación	Ninguna
Espacio ocupado	Mayor espacio para almacenar	Menor espacio para almacenar
Control del uso del material	Hoja de Detalle y Planos ayudan a controlar el inventario y consumo del acero	No hay control adecuado
Calidad	Se asegura la calidad del doblado y dimensiones	No se asegura el doblado y dimensiones

- Evaluar y Seleccionar las Alternativas

Para orientar en la evaluación de las alternativas se desarrolló un cuadro donde se muestra la información encontrada para cada criterio cualitativo.



EVALUACIÓN ALTERNATIVAS					
ESCALA DE IMPORTANCIA		ESCALA DE DESEMPEÑO		ALTERNATIVAS	
Menor	Mayor	Malo	Regular	Buena	
1	2 3 4 5	1	2	3	
				ACEDIM	VARILLAS 9 M
<b>Criterios Cuantitativos</b>		<b>S/.xkg</b>	3.39	3.56	
		<b>Puntaje Normalizado</b>	<b>0.51</b>	<b>0.49</b>	
Criterios Cualitativos	Importancia	POND.	DESEMPEÑO	DESEMPEÑO	
Tiempo de entrega	4	22%	2	3	
Facilidad de búsqueda	3	17%	2	3	
Asesoría al cliente	2	11%	3	1	
Espacio ocupado	3	17%	2	3	
Control del uso del material	3	17%	3	1	
Calidad	3	17%	3	2	
		<b>18</b>	<b>100%</b>	<b>2.44</b>	<b>2.28</b>
			<b>0.52</b>	<b>0.48</b>	
<b>EVALUACIÓN INTEGRAL</b>			<b>1.03</b>	<b>0.97</b>	

La mejor opción que encaja con las necesidades del proyecto es usar el **ACEDIM** debido que tiene un puntuación ligeramente mayor al de la otra alternativa.

#### 4.2. EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PROVEEDORES

Antes de desarrollar la herramienta propuesta es importante entender el significado de la evaluación del desempeño. A continuación se presentan algunas definiciones encontradas:

- Proceso para cuantificar la efectividad y eficiencia de una acción (Neely, Gregory y Platts, 2005).
- Análisis objetivo tanto de los proveedores existentes, mediante la evaluación de los resultados anteriores, como una evaluación preliminar de los posibles nuevos proveedores. Los proveedores suelen ser evaluados sobre la base de su calidad técnica, la capacidad de producción, entrega, servicio, costo y la capacidad de gestión (Glosario Business Service US Berkeley).
- Proceso para seleccionar o controlar a los proveedores (Lasch y Janker, 2005).

En otras palabras se puede decir que la evaluación del desempeño significa medir la habilidad del proveedor de cumplir con sus obligaciones. Esto tiene la finalidad de obtener información que ayudará a mejorar su desempeño durante el proyecto o que servirá de base para decidir su continuidad en futuros proyectos.

Muchas veces en las obras, los proveedores y/o subcontratistas no cumplen con la calidad y plazos establecidos. Esto genera retrabajos y pérdidas de tiempo lo cual se traduce en costos adicionales al proyecto.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto es vital que se seleccionen proveedores y subcontratistas adecuados para lograr un buen desempeño del proyecto. Por lo tanto se plantea un método de obtención de información de proveedores y subcontratistas, dicha información puede ser usada en futuros procesos de selección permitiendo que se tomen decisiones mejor sustentadas.

Si bien el método planteado se enfoca como fuente de información para la selección de proveedores y subcontratistas también puede ser usado para monitorear el desempeño de estos promoviendo un mejoramiento continuo.

#### 4.2.1 METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS PROVEEDORES

El procedimiento consiste de las siguientes etapas: definir proveedor a evaluar, definir los criterios, obtener la información de la obra, ponderar los criterios, definir grado de desempeño y evaluar el desempeño del proveedor. Finalmente, los resultados obtenidos se usarán para futuros procesos de selección. A continuación se presenta un gráfico con un resumen de las etapas propuestas:

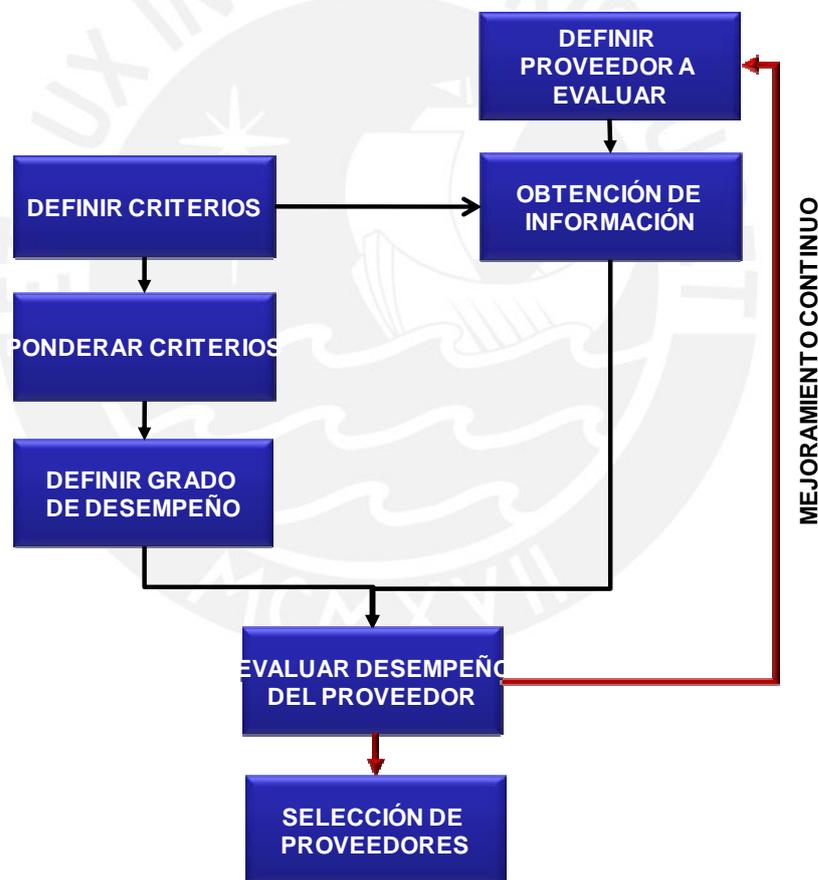


Figura 15. Metodología para evaluar el desempeño de los proveedores (Fuente Propia)

##### 4.2.1.1 DEFINIR CRITERIOS

En primer lugar se deben seleccionar los criterios que se van a usar para evaluar al proveedor. Para facilitar esta tarea se propuesto un catálogo de criterios

que han sido recopilados a partir de la revisión bibliográfica hecha sobre el tema. Asimismo, se presentan algunas maneras de medir tales criterios.

CRITERIOS	EXPLICACION	MEDICION
Tiempo de entrega	Cumplimiento con las fechas pactadas	Diferencia entre la fecha real y la fecha pactada pactado
Duración	Duración del trabajo	Diferencia entre la duración real y pactada
Cantidad	Cumplimiento con la entrega de cantidad pactada	Diferencia entre la cantidad real y la cantidad pactada
Calidad	Cumplimiento con las especificaciones de calidad pactadas en la orden o contrato	Cantidad rechazada/Cantidad total entregada x100
Retrabajo	Reducción trabajo desperdiciado o retrabajo	Cantidad de retrabajo/Cantidad total entregada x100
Seguridad	Prácticas seguras para evitar riesgos	N de incidentes
Acciones correctivas	Respuesta a los reclamos y cumplimiento con las garantías	N de reclamos sin atender
Flexibilidad	Capacidad de responder a las necesidades y cambios	N de respuestas a los cambios
Funcionalidad	Correcto funcionamiento del producto	N de errores en el funcionamiento
Asesoría	Capacidad para orientar al cliente	-

Tabla 12. Listado de criterios para evaluar el desempeño (Fuente Propia)

#### 4.2.1.2 OBTENER INFORMACIÓN

Una vez que se han establecido los criterios y la forma de medirlos se procede a obtener la información de los proveedores. La medición del desempeño, en el caso de los proveedores de productos, es cada vez que lleven el producto a la obra; y para el caso de proveedores de servicios (subcontratistas), la medición puede ser semanalmente. En este último caso es conveniente hacerlo de esta manera para poder indicarles a los proveedores sus puntos débiles para que puedan corregirlos.

#### 4.2.1.3 PONDERAR CRITERIOS

Al igual que en la metodología anterior aquí también es importante que la persona que está evaluando establezca la importancia de cada uno de los criterios para lo cual se usa el método del Scoring, es decir se usa una escala que va del 1 al 5.

#### 4.2.1.4 DEFINIR EL GRADO DE DESEMPEÑO

Una vez seleccionado los criterios de evaluación y la manera de medirlos, se pasa a establecer las escalas de evaluación que permitirán clasificar el desempeño del proveedor para un determinado criterio. A continuación se presenta un ejemplo de una escala de evaluación para el criterio tiempo de entrega:

CRITERIO	ESCALA	DESEMPEÑO
Tiempo de entrega	Entrega a tiempo	Bueno
	Entrega con retraso de 1 a 2 semanas	Regular
	Entrega con retraso mayor a 2 semanas	Malo

*Ejemplo 4. Construcción escala de evaluación*

Cabe mencionar que las escalas de evaluación deben ser definidas por la empresa de acuerdo al producto o servicio a evaluar.

#### 4.2.1.5 EVALUAR EL DESEMPEÑO:

Después de haber obtenido la información necesaria para la evaluación del desempeño del proveedor es necesario procesar dicha información para se ha adaptado la Matriz de Evaluación de la Efectividad del Diseño (Design Effectiveness Evaluation Matrix) que fue desarrollada por el Instituto de la Industria de la Construcción (CII) en 1986. Dicha matriz es usada para evaluar la efectividad durante el proceso de diseño en los proyectos.

La matriz tiene cuatro componentes principales: los criterios, los pesos de los criterios, grados de desempeño e índice de desempeño. La ventaja principal de esta matriz es que permite trabajar cuantitativamente con la información cualitativa.

CRITERIOS	IMPORT	POND	DESEMPEÑO		
			Bueno 3	Regular 2	Malo 1
<b>I. Tiempo de entrega</b> <i>Cumplimiento con las fechas pactadas</i>					
<b>II. Duración</b> <i>Cumplimiento del tiempo pactado en el contrato para la duración del trabajo</i>					
<b>III. Cantidad</b> <i>Cumplimiento con la entrega de la cantidad pactada.</i>					
<b>IV. Calidad</b> <i>Cumplimiento con los estándares o niveles de calidad</i>					
<b>V. Retrabajo</b> <i>Capacidad para hacer el trabajo sin errores</i>					
<b>VI. Seguridad</b> <i>Prácticas seguras para evitar riesgos</i>					
<b>VII. Acciones correctivas</b> <i>Capacidad de respuesta a reclamos y cumplimiento de garantías</i>					
<b>VIII. Flexibilidad</b> <i>Capacidad de responder a necesidades y cambios</i>					
<b>IX. Funcionalidad</b> <i>Desempeño en el funcionamiento del producto</i>					
<b>X. Asesoría</b> <i>Capacidad para orientar al cliente</i>					
<b>PUNTAJES PARCIALES</b>					
<b>INDICE DE DESEMPEÑO</b>					

Tabla 13. Matriz para la evaluación del Desempeño (Adaptada del CII)

El índice de desempeño es simplemente la suma de los puntajes parciales. Finalmente para saber cuál es el desempeño del proveedor es necesario clasificar el índice obtenido en bueno, malo o regular puesto que esta escala es la que se ha usado para evaluar a los proveedores. Por lo tanto la clasificación que se plantea es la siguiente:

- Bueno: mayor a 2.
- Regular: mayor a 1 y menor o igual a 2
- Malo: menor o igual a 1.

Cabe resaltar que esta clasificación dependerá de la escala que se use para evaluar el desempeño de los proveedores.

#### 4.2.2 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Para aclarar la metodología propuesta se presenta un ejemplo de aplicación para un proveedor de concreto premezclado para las losas de una obra aporcada ubicada en el distrito de Miraflores que tiene 3 sótanos y 10 pisos. Para este ejemplo se ha evaluado el desempeño del proveedor para cinco fechas distintas.



Foto 3. Vista del Proyecto (Cortesía Inmobiliaria LAPPSA)

##### A. Definir criterios

Se escogió como criterios de evaluación al tiempo de entrega, cantidad y calidad. Asimismo se establecieron unas escalas de evaluación para cada uno de los criterios.

##### B. Obtener la información

A partir de los criterios seleccionados se hizo un seguimiento al proveedor con el fin de obtener la información acerca de su desempeño con respecto a dichos criterios.

##### C. Ponderar criterios

Esta parte se hizo usando una escala del 1 al 5, donde 1 representa que el criterio es poco importante y 5 que es muy importante.

##### D. Definir grado de desempeño

Para la definición del grado de desempeño se estableció la escala de evaluación así como el desempeño que le corresponde a cada nivel de la escala.

CRITERIO	ESCALA	DESEMPEÑO
Tiempo de entrega	entrega a tiempo	Bueno
	demora entre 2 a 4 horas	Regular
	demora mayor a 4 horas	Malo
Cantidad	cantidad solicitada	Bueno
	faltaron entre 1 a 2 m <sup>3</sup>	Regular
	faltaron más de 2 m <sup>3</sup>	Malo
Calidad	cumple con la resistencia	Bueno
	no cumple con la resistencia	Malo

### E. Evaluar Desempeño

A continuación se presenta los resultados obtenidos para las cinco fechas en las cuales se evaluó al proveedor de concreto premezclado. De acuerdo a la clasificación presentada del índice de desempeño se puede observar que la mayoría de veces el desempeño del proveedor ha sido **bueno** con excepción del 30 de marzo cuyo desempeño fue **regular**. Si se observa más detenidamente nos podemos dar cuenta que de los tres aspectos evaluados el proveedor tiene una deficiencia en cuanto al tiempo de entrega. Esta información se debería guardar como una base de datos para usarla en futuros procesos de selección cuando se incluya a dicho proveedor como una alternativa de concreto premezclado.

CRITERIOS	IMPORT POND	Fecha: 11/03/2009			Fecha: 30/03/2009			Fecha: 14/04/2009			Fecha: 20/04/2009			Fecha: 27/04/2009		
		DESEMPEÑO			DESEMPEÑO			DESEMPEÑO			DESEMPEÑO			DESEMPEÑO		
		Bueno 3	Regular 2	Malo 1	Bueno 3	Regular 2	Malo 1	Bueno 3	Regular 2	Malo 1	Bueno 3	Regular 2	Malo 1	Bueno 3	Regular 2	Malo 1
<b>I. Tiempo de entrega</b> Cumplimiento con las fechas pactadas	5	38%	X			X										
<b>II. Duración</b> Cumplimiento del tiempo pactado en el contrato para la duración del trabajo																
<b>III. Cantidad</b> Cumplimiento con la entrega de la cantidad pactada	4	31%	X	X					X							
<b>IV. Calidad</b> Cumplimiento con los estándares o niveles de calidad	4	31%	X	X					X							
<b>V. Retrabajo</b> Capacidad para hacer el trabajo sin errores																
<b>VI. Seguridad</b> Prácticas seguras para evitar riesgos																
<b>VII. Acciones correctivas</b> Capacidad de respuesta a reclamos y cumplimiento de garantías																
<b>VIII. Flexibilidad</b> Capacidad de responder a necesidades y cambios																
<b>IX. Funcionalidad</b> Desempeño en el funcionamiento del producto																
<b>X. Asesoría</b> Capacidad para orientar al cliente																
<b>13</b>		100%														
<b>PUNTAJES PARCIALES</b>			<b>3</b>			<b>0.76</b>		<b>0.38</b>		<b>1.86</b>		<b>0.76</b>		<b>3</b>		<b>3</b>
<b>INDICE DE DESEMPEÑO</b>			<b>3</b>			<b>1.14</b>		<b>2.62</b>		<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3</b>

# CAPITULO 5

## Conclusiones y Recomendaciones

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La toma de decisiones para la construcción de edificaciones, presenta un espectro muy amplio debido a que puede partir desde la elección del sistema estructural continuando con el origen, tipo, marca y proveedor en el caso de los insumos.
- En base a lo anterior se puede ver que para definir exactamente un insumo se deben tomar múltiples decisiones lo cual indica que la definición del abastecimiento no es un proceso sencillo sino más bien complejo.
- Es importante resaltar que las decisiones de abastecimiento abarcan las etapas de diseño, planificación y construcción. El abastecimiento debe definirse en las dos primeras etapas de tal manera que se minimicen las decisiones de “última hora” durante la construcción. Esto evitará retrasos y mayores costos para el proyecto.
- Las decisiones de abastecimiento antes del diseño implican mayormente la elección de algunos materiales que influyen en los planos de un proyecto. Cabe resaltar que también existen algunos equipamientos o sistemas que influyen como por ejemplo: tipo de ascensor o el tipo de suministro de agua (cisterna-tanque o cisterna-presión constante hidroneumática). Uno de los objetivos principales de este tipo de decisiones es evitar las iteraciones negativas o rediseños de los planos.
- Las decisiones de abastecimiento antes de la planificación tienen dos propósitos: determinación de los costos unitarios de las partidas para elaborar un presupuesto y dar algunos parámetros para la programación. En este caso, se tienen que decidir sobre los tres tipos de recursos (materiales, mano de obra y equipos) por lo cual el rango de decisión es mucho más amplio que en el diseño. El objetivo principal, es evitar que la elaboración de presupuestos se haga sin analizar cuáles serán los requerimientos que exactamente utilizarán en la obra.
- Las decisiones durante la construcción, como ya se comentó, deberían minimizarse y sólo se deben hacer cuando hayan factores externos que nos

obliguen a hacerlos como por ejemplo: subidas de precios intempestivas, falta de stock, etc.

- La teoría de decisiones ofrece un marco general de pasos a seguir con el objetivo de elegir entre varias alternativas aquella que satisfaga los objetivos planteados. Los pasos son: búsqueda de alternativas, determinación de los criterios, evaluación y selección de las alternativas.
- Uno de los aportes de la tesis ha sido desarrollar un catálogo de alternativas para las partidas más incidentes del rubro de estructuras que facilitará la búsqueda de las alternativas.
- Los criterios que se deben usar para evaluar las alternativas son de dos tipos: cualitativos y cuantitativos, siendo estos últimos los más difíciles de determinar. Para ayudar al decisor se ha elaborado un catálogo con criterios cualitativos para el catálogo de alternativas desarrolladas. Cabe resaltar que estos criterios son una base para el decisor pudiéndose agregarse otros de acuerdo a lo que se considere necesario.
- Para la evaluación y selección de insumos se ha planteado una metodología que consta de tres partes fundamentales: evaluación cuantitativa, evaluación cualitativa y la evaluación integral. Esta metodología ofrece dos importantes ventajas; en primer lugar permite evaluar las alternativas usando criterios cualitativos y en segundo lugar integra los resultados de las evaluaciones cualitativas y cuantitativas en una evaluación final.
- La literatura presenta innumerables métodos y herramientas que pueden ser empleados para las evaluaciones cualitativas; sin embargo, siendo conscientes de que uno de los fines de las tesis es proponer soluciones que puedan ser fácilmente aplicadas en el ejercicio profesional; se hizo una encuesta para determinar el método que tanto ingenieros civiles como arquitectos usarían. El resultado arrojó que el 53% de los encuestados emplearía el Método del Scoring.
- El grado de dificultad de los tres métodos escogidos es variable siendo el Scoring el más fácil, la Matriz de Pares medianamente difícil y el AHP el más difícil por lo cual es lógico que la mayoría de los encuestados se haya inclinado

por el primero; sin embargo, es importante acotar que no se deberían descartar los otros dos métodos. La mayoría de los profesionales no está acostumbrado a hacer este tipo de evaluaciones por lo que se recomienda empezar usando el Método del Scoring, posteriormente cuando se cree un hábito o costumbre se podría pasar a usar el AHP que si bien es el más complejo también ofrece un análisis más fino y seguro.

- La metodología propuesta además puede ser utilizado como un documento de sustento técnico para justificar las decisiones tomadas, el cual puede ser revisado y corregido para enmendar una elección mal tomada.
- En esta tesis se reconoce la importancia de realizar un monitoreo del desempeño los proveedores como medio para asegurar el cumplimiento de la calidad, costo, tiempo y alcance. Por lo tanto se ha planteado un procedimiento que consta de tres pasos: definición de criterios y escalas de evaluación; obtención de información del campo y evaluación del desempeño. Este procedimiento puede tener dos objetivos: ayudar a mejorar el desempeño de los proveedores durante el proyecto y nos proporciona información importante que se debe considerar para la selección de proveedores en futuros proyectos.
- Al igual que en la toma de decisiones, se ha propuesto una serie de criterios que ayudarán en la evaluación del desempeño. Asimismo estos criterios no son limitantes sino que pueden modificarse de acuerdo a las necesidades de la empresa.
- Para la evaluación del desempeño se ha adaptado la Matriz de la Evaluación de la Efectividad del Diseño desarrolla por el Instituto de la Industria de la Construcción. La ventaja fundamental que ofrece esta matriz es la de trabajar cuantitativamente los criterios cualitativos.
- Finalmente se concluye que ambas metodologías propuestas son complementarias que contribuirán a desterrar la práctica arraigada de escoger a los proveedores únicamente basándose en el menor precio. La metodología para evaluar el desempeño de los proveedores ofrecerá información valiosa para ser usada en la selección de los proveedores para futuros proyectos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ADRIAN, James. "Buy or Rent?". The Aberdeen Group a division of Hanley-Wood. 2000.
- AGARWAL, Chander. "Lean Logistics". TCI. Febrero, 2003.
- ALVARENGA, A. C. y NOVAES, A. G. "Logística aplicada: suprimento e distribuição física". 3.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2000. 210p.
- ARBULU, Roberto; BALLARD, Glenn. "Lean Supply Systems in Construction". International Group for Lean Construction. Conpenhague, Dinamarca, 2004.
- BALLARD, Glenn; HOWELL, Greg. "What Kind of Production is Construction?". International Group for Lean Construction. Guarujá, Brasil, 1999.
- BALLARD, Glenn. "Lean Project Delivery System". Lean Construction Institute, 2000.
- BALLARD, Glenn. "The Lean Project Delivery System: An Update". Lean Construction Journal, 2008.
- BERTELSEN, S y NIELSEN, J. "Just-In-Time Logistics in the Supply of Building Materials". 1st International Conference on Construction Industry Development, Singapore. 1997.
- BIESEK, Guilherme; ISSATTO, Eduardo y FORMOSO, Carlos. "Implementing Customized Method for the Evaluation of Subcontractors". International Group for Lean Construction. Manchester, Inglaterra, 2008.
- BORGES DA SILVA, Fred. "Conceitos e Diretrizes para Gestão da Logística no Processo de Produção de Edifícios". Tesis de Maestría. Escuela Politécnica de la Universidad de Sao Paulo, Mayo 2002.
- CARDOSO, Francisco. "Importance dos estudos de preparação e da logística na organização dos sistema de produção de edifícios: alguns aprendizados a partir da experiência francesa". Seminario Lean Construction. Sao Paulo, Brasil, 1996.

- CHRISTHOPER, M. "Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Costs and Improving Service". Pitman Publishing. Londres, Inglaterra, 1992.
- "Coordinación Modular en la Construcción". ITINTEC 4000.003-1979.
- Council of Supply Chain Management Professionals. <http://cscmp.org/>
- GLOSARIO. <http://businessservices.berkeley.edu/procurement/glossary>
- GOLDEMBERG, Marat y SHAPIRA, Avid. "Systematic Evaluation of Construction Equipment Alternatives: Case Study". Journal of Construction Engineering and Management. ASCE. Enero, 2007.
- GOLDEMBERG, Marat y SHAPIRA, Avid. "AHP-Based Equipment Selection Model for Construction Projects". Journal of Construction Engineering and Management. ASCE. Diciembre, 2007.
- GONZALES, Manuel; ARRUÑADA, Benito. "La decisión de subcontratar: El Caso de las Empresas Constructoras". Investigaciones Económicas, Vol 3, 1997.
- GREGORY, Norris; HAROLD, Marshall. Multiattribute Decision Analysis Method for Evaluating Buildings and Buildings Systems". National Institute of Standards and Technology. EE.UU., 1995.
- HASTAK, Makarand y HALPIN, Daniel. "Assesment of Life-Construction Benefit-Cost of Composites in Construction". Journal of Composites for Construction. Agosto, 2000.
- HOWELL, Gregory. "What is Lean Construction". International Group for Lean Construction. California, EE.UU, 1999.
- "Improving Construction Logistics". Report of the Strategic Forum for Construction Logistics Group. 2005.
- KIM, Jee-Hye; KIM, Jae-Moon; CHA, Hee-Sung y SHIN, Dong-Woo. "Development of the Construction Waste Management Performance Evaluation Tool". Departamento de Arquitectura, Univerisdad Ajou. Korea, 2006.

- KOSKELA, LAURI. "Application of the New Production Philosophy to Construction". CIFE Technical Report # 72. Universidad de Standford. EE. UU., 1992.
- "La Logística en la Industria de la Construcción". Revista Logistec, edición N°31.
- LASCH y JANKER. "Supplier selection and controlling using multivariate analysis". International Journal of Physical Distribution and Logistics Management. v35 i6. 409-425.
- LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE. <http://www.leanconstruction.org/>
- LEAN ENTERPRISE INSTITUTE. <http://www.lean.org/>
- MATRIZ DE EFECTIVIDAD DEL DISEÑO. Instituto de la Industria de la Construcción.
- MATURANA, Sergio; ALARCÓN, Luis y VRSALOVIC, Mladen. "Achieving Collaboration in the Construction Supply Chain: An onsite Subcontractors' Evaluation Methodology". International Group for Lean Construction. Conpenhague, Dinamarca, 2004.
- MORALES, Leonel. "Análisis por Comparación de Pares, para elección de un Programa de Maestría para Especialización Profesional". <http://www.ingenieriasimple.com/problemas/EjemploComparacionPares.pdf>
- MOSSMAN, Alan. "Lean Logistics: Helping to create value by bringing people, information, plan and equipment and materials together at the workplace". International Group for Lean Construction. Michigan, EE.UU, 2007.
- NEELY, A.; GREGORY, M., PLATTS, K. "Performance measurement system design – a literature review and research agenda", International Journal of Operations & Production Management, Vol. 25 No.12, pp.1228-63. 2005.
- ORIHUELA, Pablo. Apuntes de clases del curso: Proyecto Inmobiliario. MDI, 2009.
- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. "Una Guía a los Fundamentos de la Dirección de Proyectos – PMBOK GUIDE". Newtown Square, Pennsylvania. EE. UU., 2003.

- PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. <http://www.pmi.org/>
- “Reforming Supplier Relationships Research Team”. The Construction Industry Institute, 1996.
- ROCHE, Hugo; CONSTANTINO, Viejo. “Análisis Multicriterio en la Toma de Decisiones”, 2005.
- SANCHEZ, Jaime Alberto. “Teoría de Decisiones”. Ingeniería de Productividad y Calidad, Facultad de Administración, Politécnico Colombiano.
- SAATY, Thomas. “How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process”. Interfaces, 24(6):19-43, 1994.
- SHINGO, S. Study of 'TOYOTA' Production System. Tokyo: Japan Management Association. 1984.
- SILVA, Fred B.; CARDOSO, Francisco. “A Importância da logística na organização dos sistemas de produção de edifícios”. VII Encuentro Nacional de Tecnologia en Construcción. Sao Paulo, Brasil, 1998.
- THE INTERNATIONAL GROUP OF LEAN CONSTRUCTION. <http://www.iglc.net/>
- TOMMELIEN, I.D.; BALLAR, G. y KAMINSKY, P. "Supply Chain Management for Lean Project Delivery". Handbook of Construction Supply Chain Management,, 2008, Ch. 6, pp. 6-1 to 6-22.
- TOSKANO, Hurtado. El Proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores : aplicación en la selección del proveedor para la Empresa Gráfica Comercial MyE S.R.L. Tesis. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2005.
- VRIJHOEF, Ruben; KOSKELA, Lauri. “Roles of Supply Chain Management in Construction”. International Group for Lean Construction. California, EE.UU, 1999.
- WOMACK, J. P.; JONES, D.T. y ROSS D. “The Machine that Changed the World”. Rawson Associates, Nueva York, 1990, 323p.