



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL TIEMPO EN LA ETAPA DE  
CASCO ESTRUCTURAL EN UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR  
UTILIZANDO EL MÉTODO DE LÍNEA DE BALANCE**

**PRESENTADO POR**

**JORDAN WILFREDO IZQUIERDO CHOMBO**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ**

**2016**



**Reconocimiento - No comercial - Compartir igual**  
**CC BY-NC-SA**

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTÍN DE PORRES

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN DEL TIEMPO EN LA ETAPA DE  
CASCO ESTRUCTURAL EN UN EDIFICIO MULTIFAMILIAR  
UTILIZANDO EL MÉTODO DE LÍNEA DE BALANCE**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR**

**IZQUIERDO CHOMBO, JORDAN WILFREDO**

**LIMA – PERÚ**

**2016**



### **Dedicatoria**

A Dios quien supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante los constantes problemas presentados.

A mis padres y abuelos por su constante apoyo en mi vida personal y profesional.



### **Agradecimientos**

Al Ing. Alexis Samohod Romero,  
por su apoyo constante y por  
inculcar valores y principios.

Al Ing. Carlos Chavarry Vallejos,  
por compartir su amplia  
experiencia en metodologías y  
técnicas de desarrollo de  
investigación.

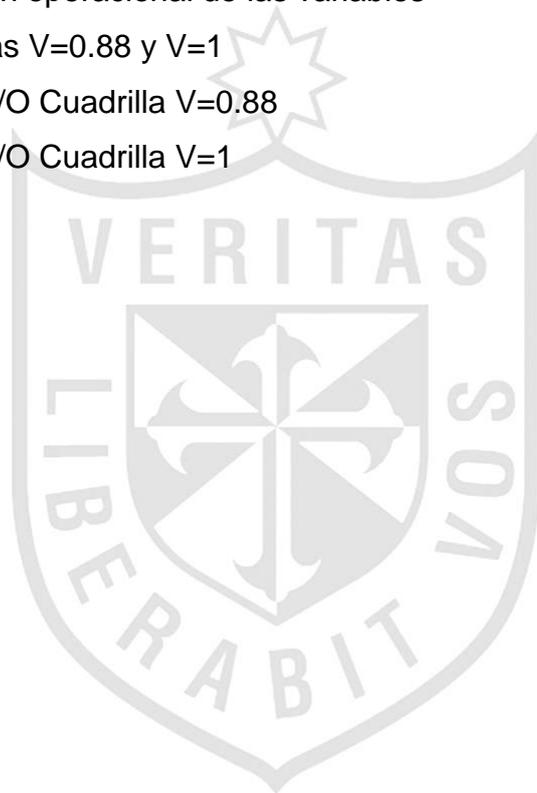
# ÍNDICE

Portada	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice	iv
Lista de Tablas	vi
Lista de Gráficos	vii
Lista de Fórmulas	viii
Resumen	ix
Abstract	x
Introducción	xi
<b>CAPÍTULO 1: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.2.1 Formulación del problema	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	4
1.4 Justificación e Importancia	5
1.5 Alcances y Limitaciones	5
1.6 Viabilidad	6
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEORICO</b>	<b>7</b>
2.1 Antecedentes de Investigación	7
2.2 Bases Teóricas	9
2.2.1 Guía del PMBOK	9
2.2.2 Gestión del tiempo	10
2.2.3 Proyecto	42
2.2.4 Filosofía Lean	42
2.2.5 Lean Production	45
2.2.6 Lean Construction	47
2.2.7 Sistema Last Planner	51
2.2.8 Diagrama Gantt	54
2.2.9 Línea de Balance	55
2.2.9.1 Concepto	55
2.2.9.2 Ventajas y desventajas	58
2.2.9.3 Estructura Fraccionada de la Localización (LBS)	59
2.2.9.4 La Velocidad	61

2.3	Marco Conceptual	63
2.4	Formulación de Hipótesis	65
2.4.1	Hipótesis General	65
2.4.2	Hipótesis Específicas	65
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA		67
3.1	Tipo de investigación	67
3.2	Nivel de investigación	67
3.3	Diseño de investigación	67
3.4	Variables	68
3.4.1	Operacionalización de Variables	69
3.4.2	Definición Operacional de Variables	70
3.5	Caso de Investigación	71
3.6	Técnicas de investigación	71
3.7	Instrumentos de recolección de datos	72
CAPÍTULO 4: PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		73
4.1	Contrastación de la hipótesis	73
4.1.1	Hipótesis General	73
4.1.2	Hipótesis Secundaria	74
4.1.3	Caso de Investigación	75
4.2	Análisis e interpretación de la investigación	76
4.3	Aplicación del caso	79
CAPÍTULO 5: DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		84
	DISCUSIÓN	84
	CONCLUSIONES	85
	RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		88

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1	Cuadro de definición de actividades	10
TABLA 2	Cuadro de secuencia de actividades	14
TABLA 3	Cuadro de estimación de actividades	20
TABLA 4	Cuadro de desarrollo del programa	25
TABLA 5	Cuadro de control del programa	36
TABLA 6	Cuadro de restricciones	53
TABLA 7	Operacionalización de Variables – Variable Dependiente	69
TABLA 8	Definición operacional de las variables	70
TABLA 9	Cuadrillas $V=0.88$ y $V=1$	83
TABLA 10	Costo M/O Cuadrilla $V=0.88$	85
TABLA 11	Costo M/O Cuadrilla $V=1$	85



## LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1	Pirámide de la Filosofía Lean	43
GRÁFICO 2	Modelo del Flujo	48
GRÁFICO 3	Modelo del Flujo con flujos eficientes	50
GRÁFICO 4	Modelo del Flujo con procesos eficientes	51
GRÁFICO 5	Pirámide de planeamiento	52
GRÁFICO 6	Línea de Balance proyecto de cuatro casas	57
GRÁFICO 7	Layout típico de un proyecto	59
GRÁFICO 8	LBS del proyecto del gráfico 2.7	60
GRÁFICO 9	Cálculo de la velocidad en la Línea de Balance	61
GRÁFICO 10	Edificio Multifamiliar Firenze	71
GRÁFICO 11	Edificio Multifamiliar Firenze Corte	75
GRÁFICO 12	Control de Avance	76
GRÁFICO 13	Control de Rendimiento	77
GRÁFICO 14	Programación de Obra	78
GRÁFICO 15	Línea de Balance Firenze – Real	80
GRÁFICO 16	Línea de Balance Firenze – Programado	81
GRÁFICO 17	Comparativo de Línea de Balance	82

## LISTA DE FÓRMULAS

FÓRMULA 1	Fórmula de Porcentaje de Actividades Cumplidas	53
FÓRMULA 2	Fórmula de la Velocidad	62
FÓRMULA 3	Fórmula del Rendimiento	62
FÓRMULA 4	Fórmula del Ratio	62



## RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo aplicar la herramienta Línea de Balance de gestión de proyectos para optimizar los tiempos de construcción del edificio Firenze. Basado en la Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK, 2012).

La metodología aplicada en el presente estudio es cualitativa de tipo descriptiva, el diseño de investigación es experimental, longitudinal y descriptivo, las variables son de tipo cualitativo ordinal. Aplicando como instrumento de recolección de datos, con valores dicotómicos, que se administrará de forma directa a los involucrados de la obra Firenze.

Con respecto al plazo de ejecución de la obra, se determinó que esta finalizó, con 27 días de retraso según lo programado. Igualmente se generó un sobre costo de S/. 3,261.15 del costo de la mano de obra del casco, aplicándose la Línea de Balance.

Finalmente se concluyó que se pueden optimizar los tiempos, con respecto a los procesos de planificación de la gestión del tiempo, estimación de recursos y la determinación del cronograma; además la investigación determinó que se puede optimizar los costos de mano de obra para la ejecución del casco del Edificio Firenze, aplicando la herramienta Línea de Balance.

**Palabras claves:** Gestión, Tiempo, Proyectos, Gestión del Tiempo, Estimación de Recursos, Cronograma.

## ABSTRACT

This research aimed to implement the line of balance (LOB) management tool to optimize the construction times of the building Firenze. (LOB) A Guide to the Project Management (PMBOK® Guide, 2012).

The methodology used in this study is qualitative descriptive, design research is experimental, longitudinal and descriptive, the qualitative variables are ordinal. Applying as data collection instrument, with dichotomous values, to be administered directly to those involved in the work is Firenze.

With regard to the period of performance of the work, it was determined that this ended with 27 days late on (LOB). Also an envelope cost of S/. 3261.15 cost of labor hull, applying the line of balance.

Finally it concluded that the time can be optimized with respect to the planning of time management, resource estimation and determination of the (LOB); Further research determined that can optimize the costs of labor for the execution of building helmet Firenze, applying the Line of Balance.

**Keywords:** Management, Time, Project Time Management, Resource Estimate, Schedule.

## INTRODUCCIÓN

Durante la ejecución de proyectos inmobiliarios se presentan diversos inconvenientes como re-trabajos o mala planificación, lo cual trae consigo el no cumplimiento en el plazo de entrega y los sobrecostos de la obra; es por ello que, se debe implementar herramientas de control y planificación que nos permitan minimizar errores. La aplicación de la Línea de Balance en el Sistema Last Planner en la ejecución de los proyectos inmobiliarios permitirá minimizar dichos inconvenientes en la ejecución.

La Línea de Balance es la mejor herramienta de representación gráfica de actividades en disposiciones temporales; ello implica tener un amplio conocimiento en rendimientos, metrados, avances de obra, control de obra; por ello, la presente tesis busca dar a conocer un comparativo entre el Cronograma Gantt y la Línea de Balance para evaluar los beneficios y déficits de cada una para así obtener la mejor alternativa a la hora de realizar el planeamiento de una obra.

El objetivo general es aplicar el Cronograma Gantt y la Línea de Balance en obras multifamiliares para evaluar la mejor técnica de planeamiento y control; los objetivos específicos son aplicar el Cronograma Gantt y la Línea de Balance para evaluar los beneficios en el control de avance, control de rendimientos y el control visual.

La presente tesis está conformada por cinco capítulos; los cuales se detallan a continuación:

Capítulo I, donde se muestra los antecedentes de la problemática del planeamiento y control de proyectos multifamiliares en el Perú; se define los objetivos, la justificación, alcances, limitaciones y la viabilidad del estudio; Capítulo II, donde se presentan los antecedentes que sustentan esta investigación, luego se desarrolla las bases teóricas que se tomaron en cuenta y se determina el marco conceptual; formulando las hipótesis; Capítulo III, se muestra el tipo de investigación a utilizar, el nivel y el diseño de la misma, la determinación y operación de las variables y además se realiza una descripción del caso de estudio; adicionalmente se señala cuál es la técnica del instrumento

para recolectar la información; Capítulo IV, se analizan los resultados obtenidos luego de la aplicación de los instrumentos de recolección de información y se contrastan las hipótesis; Capítulo V, da a conocer las conclusiones de la investigación; para así generar recomendaciones con respecto a procedimientos y conceptos utilizados en la tesis.



# CAPÍTULO 1

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Antecedentes

La técnica de Línea de Balance tiene antecedentes en los años 40 por George E. Fouch quien fue responsable de aplicar esta técnica para llevar el control de producción de *Goodyear & Rubber Company*. También, durante La Segunda Guerra Mundial, se aplicó en la industria naval de los Estados Unidos de América, para dar seguimiento a la producción en masa. A partir de los años 40 es que inicia la aplicación de la Línea de Balance en el sector construcción en los países europeos. Siendo las primeras experiencias documentadas las siguientes: en 1968 Lumsden modifica la técnica y la aplica a la programación de viviendas; en 1970 Khisty utiliza la Línea de Balance en el sentido clásico de un proceso de manufactura; en 1974 Carr y Meyer realizar un estudio en base al trabajo de Khisty para poder saber la cantidad de recursos necesarios en la Línea de Balance en cualquier momento en el transcurso del tiempo; en 1984 O'Brein al realizar un estudio de la aplicación concluyó que la Línea de Balance es de mayor beneficio en la programación de los edificios de tipo repetitivo; en 1986 Arditiy y Albulak aplicó la Línea de Balance para una obra de carreteras La cuál utilizó 1km como una unidad, en esta aplicación obtuvo acelerar el ritmo de trabajo original. A partir de 1990 se realiza un

desarrollo formal de la Línea de Balance para la programación de las obras del sector construcción.

En Finlandia, donde se aplica la Filosofía Lean, fue donde creció la aplicación de la Línea de Balance, y es ahí también donde se creó el primer software DYNAProject.

En la actualidad, existen una variedad de herramientas que permiten aumentar la probabilidad al éxito a un proyecto, mediante una buena planificación y control del mismo. En estas herramientas resaltan como: CPM (Método de la Ruta Crítica), PDM (Método de Diagrama de Precedencia) y PERT (Técnica de Programación, Evaluación y Revisión). Sin embargo hoy en día se está agregando a estas herramientas la LBS (Planeamiento Basado en la Localización) y el moldeamiento 3D.

El planeamiento basado en la localización, es una herramienta utilizada para proyectos que involucren a la distancia en su programación tales como: carreteras, obras viales, túneles, obras férreas, etc para este tipo de herramienta se consideró distintas nomenclaturas pero todas con el mismo concepto, éstas son: “Líneas de Balance”; “Time Distance Diagram”, “Time Location Diagram”, “Diagrama de Tiempo Camino” etc. Estos tipos de herramientas permiten programar un proyecto mediante gráficos. A diferencia de las herramientas (CPM, PDM y PERT) no sólo permite relación tiempo y actividades sino también ejecución.

Un debate constante sobre la aplicación de las Líneas de Balance es que se considera que son muy difíciles de elaborar. Por ello se han desarrollado diversos línea de programación que facilitan su elaboración y uso. Entre los más conocidos en la actualidad están: Vico Office Schedule Planner (publicado el 2007), Gescon (Colombia-2009) y Candy. Estos programas permiten armar las Líneas de Balance de todas las actividades de carácter lineal de un proyecto y además, identifican con facilidad los cuellos de botella y otros conflictos, así

como optimizan las cuadrillas de trabajo para el desarrollo de actividades lo que reduce costos y plazos. Para ello, siguen conceptos apoyados en los publicados en las bases para el uso correcto de las Líneas de Balance presentadas por David Arditi y otros, en el año 2002.

Se está demostrando que la aplicación de Líneas de Balance está destinada al control y planificación de proyectos, pero esta no es la única alternativa, ya que puede utilizarse también para la reprogramación y control de plazos, curvas de avance, curvas de consumo, curvas de contratación del personal y adquisición de mano de obras.

## **1.2 Planteamiento del problema**

No es usual que los proyectos de construcción en nuestro país se ejecuten cumpliendo el cronograma y presupuesto planificado; esto se debe a que no se realiza una buena planificación de los proyectos lo cual genera re-trabajos y ejecución de actividades no identificadas antes del inicio de la ejecución; el no cumplimiento de los tiempos establecidos traen consigo problemas, discusiones y desconfianza por todas las partes involucradas en el proyecto. Basándonos en lo antes mencionado es importante recalcar que debemos contar con un equipo de trabajo el cual domine el manejo, control y planificación de una obra para entregar un proyecto con todos sus alcances sin sobretiempos ni sobrecostos cumpliendo los estándares de calidad establecidos.

En la actualidad en Perú, se necesita aplicar herramientas las cuales nos permitan minimizar sobretiempos y sobrecostos, con una buena planificación y control de los proyectos a ejecutar, es por ello que proponemos como alternativa a la planificación y control de proyectos la herramienta Línea de Balance.

### 1.2.1 Formulación del problema

¿De qué manera optimizamos **la gestión del tiempo** en obras de edificación empleando el método de **Línea de balance**?

### 1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es el beneficio del **control de avance** en la gestión del tiempo al aplicar el método de Línea de Balance en la etapa de casco estructural?

¿Cuál es el beneficio del **control de rendimiento** en la gestión del tiempo al aplicar el método de Línea de Balance en la etapa de casco estructural?

¿Cuál es el beneficio del **control visual** en la gestión del tiempo al aplicar el método de Línea de Balance en la etapa de casco estructural?

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 Objetivo General

Demostrar que empleando el método de **Línea de Balance** optimizamos **la gestión del tiempo** en la etapa de casco estructural de las obras de edificaciones.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

Evaluar el **control de avance** al aplicar la Línea de balance para optimizar la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar.

Evaluar el **control de rendimiento** al aplicar la Línea de balance para optimizar la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

Evaluar el **control visual** al aplicar la Línea de balance para optimizar la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar.

#### **1.4 Justificación e Importancia**

La presente investigación, busca implementar en las empresas constructoras una herramienta para la mejora en el control y planificación de proyectos, con el fin de minimizar sobretiempos y sobrecostos en la ejecución de los mismos.

La importancia de nuestra investigación es demostrar que al aplicar la línea de balance en el Sistema Last Planner tendremos un mejor control y planificación del proyecto, logrando así que sea exitoso cumpliéndose tiempo, costo y calidad.

#### **1.5 Alcances y Limitaciones**

##### **Alcances**

Este trabajo comprende el análisis de la planificación y el replanteo de los cronogramas de actividades de 5 proyectos de edificios multifamiliares de tipo repetitivo de la empresa Urbana Perú. En los cuales, para la organización de los trenes de actividades de cada fase, se aplicó los fundamentos del sistema Last Planner y la herramienta Diagramas de Gantt.

Para el replanteo de los cronogramas, se utiliza la herramienta de Líneas de Balance, inicialmente utilizada como herramienta para la planificación y el control de producción de procesos industriales, cuyo fin en un principio era el de optimizar las variables que afectan la productividad de un proceso; además, se considera una herramienta fácil de comprender y de visualizar soluciones.

Como consecuencia del replanteo, las Líneas de Balance no son del todo lineales, de manera que en este trabajo se sugieren soluciones para lograr dicha linealidad. Además, se plantea consideraciones

(velocidades y tiempos tecnológicos) para armar las Líneas de Balance en nuevos proyectos.

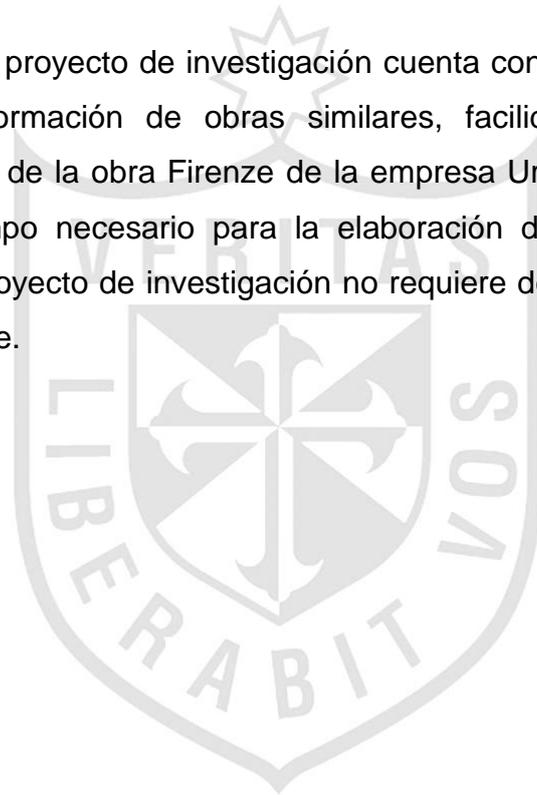
Finalmente, se desarrollará un análisis del beneficio de la implementación del nuevo método, tanto en la actualidad como a largo plazo

### **Limitación**

El presente proyecto de investigación no presenta limitaciones.

### **1.6 Viabilidad**

El presente proyecto de investigación cuenta con datos recopilados en campo, información de obras similares, facilidad de acceso a la información de la obra Firenze de la empresa Urbana Perú, se cuenta con el tiempo necesario para la elaboración de la investigación, el presente proyecto de investigación no requiere de un gasto económico considerable.



## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de investigación**

- **Calampa, S. (2014).** Aplicación de la Línea de Balance en el sistema Last Planner en proyectos de edificaciones. Perú, PUCP, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. El diseño de investigación de la tesis, es experimental del tipo aplicativo, y tiene como objetivo implementar la técnica Línea de Balance en el sistema Last Planner de los proyectos de edificaciones.

Desarrollo de la teoría: fundamentos del sistema Last Planner, teoría de la herramienta de Diagramas de Gantt y de las Líneas de Balance.

Obtención de la información: Los proyectos evaluados pertenecen a proyectos reales construidos por una misma empresa peruana, los cuales cuentan con Reportes Operativos finales de obra, en donde exponen los metrados finales e ISP acumulados. Además, el área de Control de Gestión de Proyectos cuenta con los cronogramas iniciales y finales de la obra.

Adaptación: Consiste en modificar los Cronogramas Maestros tipo Gantt a Líneas de Balance.

Herramientas: Se emplea el método de Línea de Balance. Aplicado mediante el programa Microsoft Excel, debido a que se considera un programa sencillo de utilizar y no limitante, a diferencia de los

programas especializados de la Línea de Balance existentes en el mercado.

Evaluación y resultados: Mediante los tiempos, metrados y fechas; se obtiene las velocidades y se planifica un nuevo proyecto con base en estos.

- **Cárdenas, V. (2013).** Planeamiento integral de la construcción de 142 viviendas unifamiliares en la ciudad de Puno aplicando lineamientos de la Guía del PMBOK. Perú, PUCP, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil.

El diseño de investigación de la tesis, es experimental del tipo aplicativo, y tiene como objetivo implementar una metodología para el planeamiento de 142 viviendas unifamiliares basada en la Guía del PMBOK versión 5.

El proyecto consiste en la Habilitación Urbana de 06 manzanas proyectadas para 142 viviendas unifamiliares, así como también la construcción de las mismas, bajo las normas vigentes del actual programa nacional de vivienda Techo Propio que promueve el Ministerio de Vivienda para familias de escasos recursos económicos.

- **Guzmán, A. (2014).** Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos. Perú, PUCP, Facultad de Ciencias e Ingeniería. Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil.

El diseño de investigación de la tesis, es experimental del tipo aplicativo, y tiene como objetivo implementar la filosofía Lean Construction para la planificación, programación, ejecución y control de Proyectos.

El proyecto de investigación en mención se centra en la aplicación de la filosofía lean construction como método de planificación, ejecución y control de un proyecto de construcción desarrollado en la ciudad de Lima. A lo largo del presente trabajo se describen los principales conceptos y herramientas de la filosofía lean para poder

generar una base teórica sólida que respalde la aplicación de herramientas y el análisis de resultados en los proyectos. Además, se analiza y describe de forma detallada como se aplican las herramientas más importantes de esta filosofía (Last Planner System, Sectorización, Nivel general de actividad, Cartas de Balance, etc.) con la finalidad de difundir la metodología de aplicación de cada herramienta y servir de guía para profesionales o empresas que busquen implementar lean construction en sus proyectos. Por otro lado se analizan los resultados de productividad obtenidos a lo largo del proyecto y se comparan con estándares de obras de construcción en el país con la finalidad de demostrar los buenos resultados que brinda esta filosofía y de esta forma alentar a que se expanda a una cantidad mayor de empresas del rubro construcción.

## **2.2 Bases Teóricas**

### **2.2.1 Guía del PMBOK**

La Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos, desarrollada por el *Project Management Institute* (PMI), contiene una descripción general de los fundamentos de la gestión de proyectos reconocidos como buenas prácticas. Actualmente, en su quinta edición, es el único estándar ANSI (*American National Standards Institute*) para la gestión de proyectos. Todos los programas educativos y certificaciones brindadas por el PMI están estrechamente relacionados con el PMBOK.

La objetivo principal de la Guía del PMBOK es identificar el subconjunto de fundamentos de la dirección de proyectos, este a su vez puede ser entendido como una colección de sistemas, procesos y áreas del conocimiento que son universalmente aceptados.

En la última edición se han agregado cuatro nuevos procesos de planificación: planificar la gestión del alcance, planificar la gestión del cronograma, planificar la gestión de los costos y

planificar la gestión de los interesados. Éstos fueron creados para reforzar el concepto de que cada uno de los planes subsidiarios está integrado a través del plan general para la dirección del proyecto.

### **2.2.2 Gestión del Tiempo**

Según la Guía PMBOK (2012), la gestión del tiempo de un proyecto incluye los procesos requeridos para asegurar que el proyecto se complete a tiempo o puntualmente. Se presenta una descripción general de los principales procesos involucrados en el desarrollo del programa o calendario del proyecto, que se indican a continuación:

#### **I. Definición de las actividades**

La definición de las actividades implica la identificación y documentación de las actividades específicas que se deberán ejecutar con el objeto de producir las prestaciones y subprestaciones identificadas en la Estructura de División del Trabajo (EDT). Este proceso tiene implícita la necesidad de definir las actividades, de modo tal que se cumplan los objetivos del proyecto.

**TABLA 1: CUADRO DE DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES**

ENTRADA	HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructura de división del trabajo.</li> <li>• Declaración del alcance.</li> <li>• Información histórica.</li> <li>• Restricciones</li> <li>• Supuestos</li> <li>• Juicio experto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descomposición</li> <li>• Plantillas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de actividades</li> <li>• Detalle de respaldo</li> <li>• Actualizaciones de la estructura de división de trabajo</li> <li>• Secuencia de actividades-</li> </ul>

Fuente: PMBOK (2012)

**Entradas:**

- **Estructura de división del trabajo.** La EDT constituye la principal entrada para la definición de las actividades
- **Declaración del alcance.** Durante la definición de las actividades, se deben considerar explícitamente la justificación del proyecto y los objetivos del mismo contenidos en la declaración del alcance.
- **Información histórica.** En la definición de las actividades del proyecto, se debe considerar la información histórica (cuáles fueron las actividades que realmente fueron necesarias en proyectos previos similares)

- **Restricciones.** Las restricciones son aquellos factores que limitarán las opciones del equipo de gestión del proyecto; un ejemplo podría ser el uso de las máximas duraciones deseadas para las actividades.
- **Supuestos** Los supuestos son factores que, para propósitos de planificación, se consideran verdaderos, reales o ciertos. Los supuestos afectan todos los aspectos de planificación del proyecto y, son parte de la elaboración progresiva del proyecto. Los equipos de proyectos están frecuentemente identificando, documentando y validando los supuestos, como parte de su proceso de planificación. Si es incierta la fecha en que una persona clave estará disponible, el equipo podrá suponer una fecha de inicio específica. Los supuestos generalmente implican un grado de riesgo.
- **Juicio experto.** A menudo, será necesario el juicio experto con el fin de evaluar las entradas para este proceso. Dicha experticia puede ser proporcionada por cualquier grupo o individuo con conocimiento o entrenamiento especializado, y se puede obtener de muchas fuentes, que incluyen:
  - Otras unidades dentro de la organización ejecutante.
  - Consultores
  - Accionistas, incluidos los clientes.
  - Asociaciones profesionales y técnicas

#### **Herramientas:**

- **Descomposición.** Dentro del contexto del proceso de Definición de las Actividades, la descomposición implica subdividir los paquetes de trabajo del proyecto en componentes más pequeños y más manejables, a fin de permitir un mejor control de gestión. La principal diferencia entre la modalidad de

descomposición que tratamos aquí y la descrita en la Definición del Alcance, está en que las consecuencias o resultados finales en este caso se describen como actividades en vez de cómo prestaciones. La EDT y la lista de actividades se desarrollan, por lo general, en forma secuencial, siendo la EDT la base de desarrollo de la lista final de actividades. En algunas áreas de aplicación, la EDT y la lista de actividades se desarrollan de manera concurrente. .

- **Plantillas.** A menudo, se utiliza como plantilla para un nuevo proyecto una lista de actividades o una parte de la lista de actividades de un proyecto anterior. Las actividades de las plantillas pueden contener, también, una lista de las habilidades (recursos) y sus horas de trabajo requeridas, una identificación de los riesgos, las prestaciones esperadas y cualquier otra información descriptiva.

#### **Resultados:**

- **Lista de actividades** La lista de actividades debe incluir todas las actividades que se llevarán a cabo en el proyecto. Esta debe organizarse como una extensión de la EDT, a fin de ayudar a garantizar que ésta se encuentre completa, y que no incluye ninguna actividad que no sea requerida como parte del alcance del proyecto. Como con la EDT, la lista de actividades debe incluir descripciones de cada actividad, a fin de asegurarse de que los miembros del equipo del proyecto entienda cómo se va a realizar el trabajo.

- **Detalle de respaldo.** El detalle de respaldo para la lista de actividades debe documentarse y organizarse según sea necesario para facilitar su uso por parte de los demás procesos de gestión del proyecto. El detalle de respaldo debe incluir siempre la documentación de todas las restricciones y supuestos que se hayan identificado. La cantidad adicional de detalle puede variar según el área de aplicación. .

• **Actualizaciones de la estructura de división del trabajo.** Al utilizar la EDT para identificar qué actividades son necesarias, el equipo del proyecto puede identificar aquellas prestaciones que falten o bien puede determinar que es necesario aclarar o corregir las descripciones de las prestaciones. Cualquiera de tales actualizaciones debe reflejarse en la EDT y en toda documentación relacionada, como por ejemplo las estimaciones de costos. Estas actualizaciones son llamadas, con frecuencia, refinamientos y son más probables cuando el proyecto conlleva una tecnología nueva o no probada con anterioridad.

## **II. Secuencia de actividades**

La secuencia de las actividades implica identificar y documentar las relaciones lógicas interactividades. Las actividades se deben secuenciar de manera exacta, a fin de respaldar el posterior desarrollo de un programa realista y alcanzable. Esta secuencia se puede llevar a cabo con la ayuda de un computador (por ejemplo, utilizando el software de gestión de proyectos) o bien por medio de técnicas manuales. A menudo, las técnicas manuales son más efectivas en proyectos más pequeños y en las primeras etapas o fases de aquellos proyectos de mayor envergadura, cuando se dispone de poco detalle. También es posible utilizar las técnicas manuales y automatizadas en forma combinada.

**TABLE 2: CUADRO DE SECUENCIA DE ACTIVIDADES**

ENTRADAS	HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de actividades</li> <li>• Descripción del producto</li> <li>• Relaciones de dependencia obligada</li> <li>• Relaciones de dependencia discreta</li> <li>• Relaciones de dependencia externa</li> <li>• Hitos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de diagramación de precedencias</li> <li>• Método de diagramación con flechas</li> <li>• Método de diagramación condicional</li> <li>• Plantillas de red</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagramas de redes del proyecto</li> <li>• Actualizaciones de la lista de actividades</li> </ul>

Fuente: PMBOK (2012).

• **Lista de actividades.** La lista de actividades debe incluir todas las actividades que se llevarán a cabo en el proyecto. Esta debe organizarse como una extensión de la EDT, a fin de ayudar a garantizar que ésta se encuentre completa, y que no incluye ninguna actividad que no sea requerida como parte del alcance del proyecto. Como con la EDT, la lista de actividades debe incluir descripciones de cada actividad, a fin de asegurarse de que los miembros del equipo del proyecto entienda cómo se va a realizar el trabajo

• **Descripción del producto.** Con frecuencia, la secuencia de las actividades se ve afectada por las características del producto (por ejemplo, la distribución física de una planta a construir, las interfaces de subsistemas en un proyecto de software). Aun cuando estos efectos son, la mayor de las veces, aparentes en la lista de actividades, por lo general se debe revisar la descripción del producto a fin de garantizar la precisión.

• **Relaciones de dependencia obligada.** Las relaciones de dependencia obligada son aquellas que son inherentes a la naturaleza del trabajo que se está realizando. A menudo, se trata de limitaciones físicas. En un proyecto de construcción, es imposible edificar la superestructura sino hasta después que se haya construido la fundación; en un proyecto electrónico, se debe construir un prototipo antes de que se pueda probar. Las relaciones de dependencia obligada son conocidas también como lógica dura.

• **Relaciones de dependencia discreta.** Las relaciones de dependencia discreta son aquellas que son definidas por el equipo de gestión del proyecto. Estas deben utilizarse con cuidado (y deben ser documentadas completamente), ya que pueden llegar a limitar más adelante las opciones de programación. Las relaciones de dependencia discreta se definen, comúnmente, basándose en el conocimiento que se tenga de:

- “Las mejores prácticas” dentro de un área de aplicación particular.
- Cierta aspecto inusual del proyecto donde se desea una secuencia específica, aunque existan otras secuencias aceptables.

Las relaciones de dependencia discreta pueden ser denominadas también como lógica preferida, lógica preferencial o lógica blanda.

• **Relaciones de dependencia externa.** Las relaciones de dependencia externa son aquellas que implican una relación entre las actividades del proyecto y las actividades que no guardan relación alguna con el proyecto. Por ejemplo, la actividad de prueba o evaluación de un proyecto de software puede ser dependiente de la entrega de hardware de parte de una fuente externa, o bien es posible que sea necesario realizar audiencias ambientales antes de que puede iniciarse la preparación del área en un proyecto de construcción.

• **Hitos.** Es necesario que los hitos o eventos más importantes sean parte de la secuencia de actividades a fin de asegurar que se cumplan los requerimientos para el(los) hito(s).

#### **Herramientas:**

• **Método de diagramación de precedencias (MDP).** Este es un método de construcción de un diagrama de red de proyecto que utiliza cuadros o rectángulos (nodos) para representar las actividades y las conecta con flechas que muestran las relaciones de dependencia). Esta técnica se conoce también como actividad en nodo (AON) y es el método empleado por la mayoría de los paquetes de software sobre gestión de proyectos. El MDP se puede llevar a cabo en forma manual o bien en un computador. Este método incluye cuatro tipos de relaciones de dependencia o precedencia:

- **Terminar para comenzar** – el inicio del trabajo del sucesor depende del término del trabajo del predecesor.
- **Terminar para terminar** – el término del trabajo del sucesor depende del término del trabajo del predecesor.

- **Comenzar para comenzar** – el inicio del trabajo del sucesor depende del inicio del trabajo del predecesor.
- **Comenzar para terminar** – el término del sucesor es dependiente del inicio del predecesor

En el MDP, se utiliza más comúnmente el tipo de relación lógica terminar para-comenzar. Las relaciones comenzar-para-terminar son rara vez empleadas, y son la mayor de las veces sólo utilizadas por ingenieros profesionales en programación de proyectos. La utilización de las relaciones comenzar-para-comenzar, terminar-para-terminar o comenzar para-terminar con el software de gestión de proyectos pueden dar lugar a resultados inesperados, dado que estos tipos de relaciones no han sido implementadas de manera consistente.

• **Método de diagramación con flechas (MDF).** Este método de construcción de un diagrama de red de proyecto utiliza flechas para representar las actividades y las conecta en los nodos para demostrar sus relaciones de dependencia.. Esta técnica se conoce también como actividad-en-la-flecha (AOA) y, aunque es menos común que la MDP, sigue siendo la técnica predilecta en algunas áreas de aplicación. El MDF utiliza únicamente relaciones de dependencia terminar-para-empezar y puede requerir el uso de actividades reiterativas con el objeto de definir correctamente todas las relaciones lógicas. El MDF puede realizarse manualmente o en un computador.

• **Métodos de diagramación condicional.** Las técnicas de diagramación tales como la Técnica de Revisión y Evaluación Gráfica (TREG) y los modelos de Dinámica de Sistemas, permiten desarrollar actividades nosecuenciales como lazos (“loops”) (por ejemplo, una prueba que se debe repetir más de una vez) o ramas condicionales (por ejemplo, una actualización de diseño que sólo es necesaria si la inspección detecta

errores). Ni el MDF ni el MDP permiten lazos o ramas condicionales.

• **Plantillas de red.** Con el objeto de acelerar la preparación de los diagramas de red del proyecto, es posible recurrir a redes estandarizadas. Estas pueden incluir un proyecto completo o bien sólo una parte de éste. Las partes de una red se conocen a menudo como subredes o fragnets. Las subredes son especialmente útiles cuando un proyecto incluye varias características idénticas o casi idénticas, tales como los pisos de un edificio de oficinas, los ensayos clínicos de un proyecto de investigación farmacéutica, los módulos de programación de un proyecto de software o la fase de puesta en marcha de un proyecto de desarrollo.

#### **Resultados:**

• **Diagramas de redes del proyecto.** Los diagramas de red del proyecto son despliegues esquemáticos de las actividades del proyecto y las relaciones lógicas (de dependencia) entre ellas. El diagrama de red del proyecto se puede producir manualmente o por medio de un computador. Este puede incluir detalles acabados del proyecto, o bien puede tener una o más actividades resumidas. El diagrama debe ir acompañado de una descripción resumida (narrativa) que defina el enfoque básico de la secuencia. Se deberá describir completamente cualquier secuencia inusual. El diagrama de red del proyecto se denomina, comúnmente, como gráfico PERT. Históricamente el PERT (Técnica de Evaluación y Revisión de Programa) fue el tipo específico de diagrama de red

• **Actualizaciones de la lista de actividades.** En gran parte de la misma manera que el proceso de definición de actividades puede generar actualizaciones a la EDT, la preparación de los diagramas de red del proyecto puede revelar instancias en

donde se deba dividir una actividad o, en otro sentido, se deba redefinir a fin de diagramar las relaciones lógicas correctas.

### **III. Estimación de las actividades**

La estimación de la duración de las actividades es el proceso de tomar información sobre el alcance del proyecto y de los recursos y, luego, desarrollar las duraciones para ingresarlas en los programas. Las entradas para las estimaciones de duración se originan, comúnmente, a partir de la persona o grupo del equipo del proyecto que está más familiarizado con la naturaleza de una actividad específica. La estimación se elabora, a menudo, en forma progresiva, y el proceso considera la calidad y la disponibilidad de la información de entrada. Así, es posible suponer que la estimación será progresivamente más exacta y de calidad conocida. La persona o grupo del equipo del proyecto que esté más familiarizado con la naturaleza de una actividad específica debe llevar a cabo, o al menos aprobar, la estimación. La estimación de la cantidad de periodos de trabajo requeridos para completar una actividad requerirá, a menudo, también de la consideración del tiempo transcurrido. Por ejemplo, si el “fraguado del hormigón” requerirá de cuatro días de tiempo transcurrido, es probable que sean necesarios de dos a cuatro periodos de trabajo, sobre la base de (a) qué día de la semana se inicia, y (b) si los fines de semana son o no tratados como periodos de trabajo. La mayoría del software de programación computarizado manejará este problema, utilizando calendarios alternativos de periodos de trabajo. La duración global del proyecto se puede estimar, utilizando las herramientas y técnicas aquí presentadas, pero se calcula más adecuadamente como consecuencia del desarrollo del programa. El equipo del proyecto puede considerar la duración del proyecto como una distribución de probabilidades (utilizando técnicas

probabilísticas) o bien como una estimación de un solo punto (utilizando técnicas determinísticas).

**TABLA 3: CUADRO DE ESTIMACIÓN DE ACTIVIDADES**

ENTRADAS	HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lista de actividades</li> <li>• Restricciones</li> <li>• Supuestos</li> <li>• Requerimientos de recursos</li> <li>• Capacidades de los recursos</li> <li>• Información histórica</li> <li>• Riesgos Identificados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juicio experto</li> <li>• Estimación análoga</li> <li>• Duraciones cuantitativamente basadas</li> <li>• Tiempo de reserva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estimaciones de la duración de las actividades</li> <li>• Bases de las estimaciones</li> <li>• Actualizaciones de la lista de actividades</li> </ul>

Fuente: PMBOK (2012)

**Entradas:**

• **Lista de actividades.** La lista de actividades debe incluir todas las actividades que se llevarán a cabo en el proyecto. Esta debe organizarse como una extensión de la EDT, a fin de ayudar a garantizar que ésta se encuentre completa, y que no incluye ninguna actividad que no sea requerida como parte del alcance del proyecto. Como con la EDT, la lista de actividades debe incluir descripciones de cada actividad, a fin de asegurarse de que los miembros del equipo del proyecto entienda cómo se va a realizar el trabajo.

• **Restricciones.** Las restricciones son aquellos factores que limitarán las opciones del equipo de gestión del proyecto; un

ejemplo podría ser el uso de las máximas duraciones deseadas para las actividades.

- **Supuestos.** Un ejemplo de ellos podrían ser los periodos de reporte por la duración del proyecto que podrían determinar las duraciones máximas; es decir, dos periodos de reporte.

- **Requerimientos de recursos.** La duración de la mayoría de las actividades se verá significativamente influenciada por los recursos que se les asignen. Por ejemplo, dos personas que trabajen juntas pueden ser capaces de completar una actividad de diseño en la mitad del tiempo que les demoraría si lo hicieran en forma individual, en tanto que una persona que trabaje medio tiempo en una actividad generalmente demoraría, al menos, el doble del tiempo que la misma persona trabajando a tiempo completo. No obstante, a medida que se van agregando recursos adicionales, los proyectos pueden experimentar una sobrecarga comunicacional que reduce la productividad y que hace que la producción mejore proporcionalmente menos que el incremento en los recursos.

- **Capacidades de los recursos.** La duración de la mayoría de las actividades se verá significativamente influenciada por las capacidades de los recursos humanos y materiales que se les asignen. Por ejemplo, si ambos fueran asignados a tiempo completo, se puede esperar, por lo general, que un miembro antiguo del personal complete una determinada actividad en menos tiempo que un miembro más nuevo.

- **Información histórica.** La información histórica sobre las duraciones probables de muchas categorías de actividades, es posible de obtener, con frecuencia, a partir de una o más de las siguientes fuentes:

- **Archivos del proyecto** – es probable que una o más organizaciones involucradas en el proyecto mantenga registros de resultados previos del proyecto, que estén lo suficientemente detallados como para servir de ayuda en el desarrollo de estimaciones de duración. En algunas áreas de aplicación, los miembros individuales del equipo pueden mantener tales registros.
  - **Bases de datos comerciales de estimaciones de duración** – con frecuencia, la información histórica se encuentra comercialmente disponible. Estas bases de datos tienden a ser específicamente útiles cuando las duraciones de las actividades no son impulsadas por el contenido real del trabajo (por ejemplo, cuánto demora el hormigón en fraguarse; cuánto demora, por lo general, una agencia estatal en responder a ciertos tipos de solicitudes).
  - **Conocimiento del equipo del proyecto** – los miembros individuales del equipo del proyecto pueden recordar realidades o estimaciones anteriores. Aun cuando dichas recopilaciones pueden ser útiles, éstas son significativamente menos confiables que los resultados documentados.
- **Riesgos identificados.** El equipo del proyecto considera la información sobre riesgos identificados al momento de producir las estimaciones de duración de las actividades, ya que los riesgos (ya sean amenazas u oportunidades) pueden tener una influencia significativa en la duración. El equipo del proyecto considera hasta qué grado se incluye el efecto de los riesgos en la estimación base de la duración de cada actividad, incluidos los riesgos con altas probabilidades o impacto.

#### **Herramientas:**

- **Juicio experto.** Las duraciones son, a menudo, difíciles de estimar, debido a la serie de factores que pueden influenciarlas (por ejemplo, los niveles de recursos, la productividad de los

recursos). Toda vez que sea posible, se debe recurrir al juicio experto guiado por la información histórica. Si no se cuenta con dicha experticia, las estimaciones serán inherentemente inciertas y riesgosas.

• **Estimación análoga.** La estimación análoga, también conocida como estimación de arriba-hacia-abajo, significa utilizar la duración real de una actividad previa similar como base para estimar la duración de una actividad futura. Se le utiliza frecuentemente para estimar la duración del proyecto cuando existe una cantidad limitada de información detallada acerca del proyecto (por ejemplo, en las primeras fases). La estimación análoga es una forma de juicio experto. La estimación análoga es más confiable cuando (a) las actividades previas son similares de hecho y no sólo en apariencia y, (b) los individuos que preparan las estimaciones reúnen la experticia necesaria.

• **Duraciones cuantitativamente basadas.** Para estimar las duraciones de las actividades, se pueden utilizar las cantidades a realizar para cada categoría específica de trabajo (es decir, el número de dibujos, metros de cable, toneladas de acero, etc.) definidas por ingeniería / diseño, cuando se multiplica por la tarifa o precio unitario de productividad (es decir, horas por dibujo, metros de cable por hora, etc.).

• **Tiempo de reserva (contingencia).** Los equipos de proyectos pueden optar por incorporar una fracción de tiempo adicional, denominada tiempo de reserva, contingencia o buffer, que se puede sumar a la duración de la actividad o a otra parte del programa, como un reconocimiento del riesgo del programa. Este tiempo de reserva puede ser un porcentaje de la duración estimada, o bien un número fijo de periodos de trabajo. Más adelante, se puede reducir o eliminar el tiempo de reserva, en la medida que se disponga de información más precisa acerca del

proyecto. Dicho tiempo de reserva debe documentarse junto con cualquier otra información y supuesto.

### **Resultados:**

• **Estimaciones de duración de las actividades.** Las estimaciones de duración de las actividades son evaluaciones cuantitativas del número probable de periodos de trabajo que se requerirán para completar una actividad. Las estimaciones de duración de las actividades deben incluir siempre cierta indicación del rango de los posibles resultados. Por ejemplo:

- 2 semanas + 2 días para indicar que la actividad demorará, al menos, ocho días y no más de doce (suponiendo una semana laboral de 5 días).
- Probabilidad de 15 por ciento de exceder las tres semanas, a fin de indicar una alta probabilidad – 85 por ciento – de que la actividad demorará tres semanas o menos.

• **Bases de las estimaciones.** Se deben documentar los supuestos realizados en el desarrollo de las estimaciones.

• **Actualizaciones de la lista de actividades.** En gran parte de la misma manera que el proceso de definición de actividades puede generar actualizaciones a la EDT, la preparación de los diagramas de red del proyecto puede revelar instancias en donde se deba dividir una actividad o, en otro sentido, se deba redefinir a fin de diagramar las relaciones lógicas correctas.

### **IV Desarrollo del programa**

Desarrollo del programa significa determinar las fechas de inicio y término de las actividades del proyecto. Si no son realistas las fechas de inicio y término, entonces es improbable que el proyecto se termine de acuerdo a lo programado. El proceso de desarrollo del programa debe ser, a menudo, iterativo (junto con los procesos que proveen las entradas, especialmente el de

estimación de las duraciones y el de estimación de costos) en forma previa a la determinación del programa del proyecto.

**TABLA 4: CUADRO DE DESARROLLO DEL PROGRAMA**

ENTRADA	HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diagramas de red del proyecto</li> <li>• Estimaciones de duración de actividades</li> <li>• Requerimiento de recursos</li> <li>• Descripción de pool de recursos</li> <li>• Calendarios</li> <li>• Restricciones</li> <li>• Supuestos</li> <li>• Atributos de las actividades</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis matemático</li> <li>• Compresión de la duración</li> <li>• Simulación</li> <li>• Heurística de nivelación de recursos</li> <li>• Software de gestión de proyectos</li> <li>• Estructura de codificación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa del proyecto</li> <li>• Detalle de respaldo</li> <li>• Plan de gestión del programa</li> <li>• Actualizaciones de los requerimientos de los recursos</li> </ul>

Fuente: PMBOK (2012).

**Entradas:**

• **Diagramas de red del proyecto.** Los diagramas de red del proyecto son despliegues esquemáticos de las actividades del proyecto y las relaciones lógicas (de dependencia) entre ellas.. El diagrama de red del proyecto se puede producir manualmente o por medio de un computador. Este puede incluir detalles acabados del proyecto, o bien puede tener una o más actividades resumidas. El diagrama debe ir acompañado de una descripción resumida (narrativa) que defina el enfoque básico de la secuencia. Se deberá describir completamente cualquier

secuencia inusual. El diagrama de red del proyecto se denomina, comúnmente, como gráfico PERT. Históricamente el PERT (Técnica de Evaluación y Revisión de Programa) fue el tipo específico de diagrama de red.

• **Estimaciones de duración de las actividades.** Las estimaciones de duración de las actividades son evaluaciones cuantitativas del número probable de periodos de trabajo que se requerirán para completar una actividad. Las estimaciones de duración de las actividades deben incluir siempre cierta indicación del rango de los posibles resultados. Por ejemplo:

- 2 semanas + 2 días para indicar que la actividad demorará, al menos, ocho días y no más de doce (suponiendo una semana laboral de 5 días).
- Probabilidad de 15 por ciento de exceder las tres semanas, a fin de indicar una alta probabilidad – 85 por ciento – de que la actividad demorará tres semanas o menos.

• **Requerimientos de recursos.** La duración de la mayoría de las actividades se verá significativamente influenciada por los recursos que se les asignen. Por ejemplo, dos personas que trabajen juntas pueden ser capaces de completar una actividad de diseño en la mitad del tiempo que les demoraría si lo hicieran en forma individual, en tanto que una persona que trabaje medio tiempo en una actividad generalmente demoraría, al menos, el doble del tiempo que la misma persona trabajando a tiempo completo. No obstante, a medida que se van agregando recursos adicionales, los proyectos pueden experimentar una sobrecarga comunicacional que reduce la productividad y que hace que la producción mejore proporcionalmente menos que el incremento en los recursos

• **Descripción del pool de recursos.** El desarrollo del programa requiere el conocimiento de cuáles serán los recursos disponibles en qué momentos y en que patrones. Por ejemplo, los recursos críticos o compartidos pueden ser especialmente difíciles de programar, dado que su disponibilidad puede ser altamente variable. La cantidad de detalle y el nivel de especificidad en la descripción del pool de recursos será variable. Por ejemplo, sólo se necesita conocer que habrá dos consultores disponibles en una fracción particular de tiempo para el desarrollo preliminar del programa de un proyecto de consultoría. Sin embargo, el programa final del mismo proyecto identifica qué consultores estarán disponibles específicamente.

• **Calendarios.** Los calendarios del proyecto y de los recursos identifican los periodos en que se autorizará el trabajo. Los calendarios de proyecto afectan a todos los recursos (por ejemplo, algunos proyectos sólo se desarrollarán durante horario normal de oficina, mientras que otros lo harán en tres turnos completos). Una semana de cinco días hábiles es un ejemplo del uso del calendario. Los calendarios de recursos afectan a un recurso específico o categoría de recursos (por ejemplo, un miembro del equipo del proyecto puede estar en vacaciones o bien en un programa de capacitación; un contrato de trabajo puede limitarse a ciertos trabajadores durante ciertos días de la semana).

• **Restricciones.** Las restricciones son aquellos factores que limitarán las opciones del equipo de gestión del proyecto. Existen dos categorías principales de restricciones de tiempo que se consideran durante el desarrollo del programa:

**-Fechas impuestas** –las fechas impuestas para el inicio o término de las actividades pueden ser utilizadas para restringir que el inicio o término ocurran, ya sea, no antes de una fecha específica o bien no más allá de una fecha determinada. Aun cuando las cuatro restricciones de fechas se encuentran comúnmente disponibles en el software de gestión de proyectos, las restricciones “*Comenzar No Antes de*” y “*Terminar No Más Allá de*” son los tipos más típicamente empleados. Los usos típicos de las restricciones de fechas incluyen situaciones tales como un nicho de mercado en un proyecto tecnológico, las restricciones climáticas para las actividades a la intemperie, el acatamiento de mandatos gubernamentales con solución a problemas ambientales, la entrega de material de parte de terceras partes que no están representadas en el programa del proyecto, etc.

- **Eventos claves o principales hitos** – el auspiciador del proyecto, el cliente o cualquier otro accionista del proyecto, puede requerir el término de ciertas prestaciones en una fecha específica. Una vez programadas, estas fechas son inamovibles y, a menudo, sólo pueden ser modificadas con gran dificultad. Los hitos se pueden utilizar, además, para indicar interfaces con trabajo fuera del proyecto. Dicho trabajo no está, comúnmente, incorporado dentro de la base de datos del proyecto y, los hitos con las fechas de restricción pueden convertirse en interfaces adecuadas para el programa.

• **Supuestos:** Los supuestos son factores que, para propósitos de planificación, se consideran verdaderos, reales o ciertos. Los supuestos afectan todos los aspectos de planificación del proyecto y, son parte de la elaboración progresiva del proyecto. Los equipos de proyectos están frecuentemente identificando, documentando y validando los supuestos, como parte de su

proceso de planificación. Si es incierta la fecha en que una persona clave estará disponible, el equipo podrá suponer una fecha de inicio específica. Los supuestos generalmente implican un grado de riesgo.

- **Adelantos y atrasos.** Toda relación de dependencia puede requerir de la especificación de un adelanto o de un atraso para definir con exactitud la relación. Un ejemplo de atraso: podría haber un deseo de programar una demora (atraso) de dos semanas, entre la orden de una pieza de equipo y la instalación o uso de ésta. Un ejemplo de un adelanto, en una relación de dependencia terminar-para-empezar con un adelanto de diez días: la actividad sucesora comienza diez días antes que se haya terminado la actividad predecesora.

- **Plan de gestión del riesgo.** El plan de gestión de riesgos describe la forma como se estructurará y ejecutará la identificación, los análisis cualitativo y cuantitativo, la planificación de la respuesta, el monitoreo y el control de los riesgos durante el ciclo de vida del proyecto. El plan de gestión de riesgo no aborda las respuestas a los riesgos individuales – esto es llevado a cabo en el plan de respuesta al riesgo. El plan de gestión de riesgo puede incluir lo siguiente:

- **Metodología.** Define los enfoques, herramientas, y fuentes de información que se pueden utilizar para ejecutar la gestión de riesgos en este proyecto. Pueden ser adecuadas varios tipos diferentes de evaluaciones, dependiendo de la etapa del proyecto, la cantidad de información disponible y la flexibilidad que tenga la gestión de riesgos.
- **Roles y responsabilidades.** Define el liderazgo, el soporte y la membresía del equipo de gestión de riesgos para cada tipo de acción del plan de gestión de riesgos. Los equipos de

gestión de riesgos organizados fuera de la oficina de proyectos pueden ser capaces de realizar análisis de riesgos del proyecto más independientes e insesgados que aquellos realizados por el equipo de proyectos auspiciante.

- **Presupuesto.** Establece un presupuesto para la gestión de riesgos del proyecto.
- **Frecuencia.** Define la frecuencia con que se realizará el proceso de gestión de riesgos durante todo el ciclo de vida del proyecto. Los resultados deben ser evaluados con suficiente antelación como para influir en las decisiones. Las decisiones deben ser reevaluadas periódicamente durante la ejecución del proyecto.
- **Ponderación e interpretación.** Se deberá contar con métodos de puntuación e interpretación que sean adecuados al tipo y frecuencia de los análisis de riesgos cualitativos y cuantitativos que se estén realizando. Los métodos en cuestión deben determinarse en forma anticipada de modo tal de asegurar una consistencia.
- **Umbrales.** Los criterios de umbral para los riesgos sobre los que se va a actuar, por parte de quién y de qué manera. El dueño del proyecto, el cliente o el auspiciador pueden tener un umbral de riesgo diferente. El umbral aceptable forma la meta con respecto a la cual el equipo del proyecto medirá la eficacia de la ejecución del plan de respuesta al riesgo.
- **Formatos de reporte.** Describe el contenido y el formato del plan de respuesta al riesgo. Define la forma como se documentarán, analizarán y comunicarán los resultados de los procesos de gestión de riesgo al equipo del proyecto, a los accionistas internos y externos, a los auspiciadores y a terceros.
- **Seguimiento.** Documenta cómo se registrarán todas las facetas de las actividades de riesgos para beneficio del actual proyecto, futuras necesidades y lecciones aprendidas.

Documenta si se auditarán o no los procesos de riesgos y de qué manera

• **Atributos de las actividades.** Los atributos de las actividades – incluida la responsabilidad (es decir, quién realizará el trabajo), el área geográfica o lugar (dónde se va a ejecutar el trabajo) y el tipo de actividad (es decir, un resumen o detalle) – son consideraciones muy importantes para continuar con la selección y clasificación de las actividades planificadas en forma conveniente para los usuarios. La clasificación de la EDT es también un atributo importante que permite la clasificación y ordenamiento expedito de las actividades.

**Herramientas:**

• **Análisis matemático.** El análisis matemático implica calcular las fechas de inicio y término adelantadas y atrasadas teóricas para todas las actividades del proyecto sin considerar ninguna limitación en el pool de recursos. Las fechas resultantes no constituyen el programa, sino que más bien indican los periodos de tiempo dentro de los cuales se podría programar la actividad, dados los límites de recursos y otras restricciones conocidas. Las técnicas de análisis matemático más ampliamente conocidas son:

- **El Método de Trayectorias Críticas (MTC)** – calcula una sola fecha de inicio y término adelantada o atrasada determinística para cada actividad, basándose en la lógica de red secuencial específica y en una sola estimación de duración. El enfoque del MTC está en calcular el punto flotante para determinar cuáles son las actividades que tienen la menor flexibilidad de programación. Los algoritmos básicos del MTC son a menudo utilizados en otros tipos de análisis matemático.
- **Técnica de Evaluación y Revisión Gráfica (TERG)** – permite el tratamiento probabilístico tanto de la lógica de red

como de las estimaciones de duración de las actividades (es decir, algunas actividades no se ejecutarán en absoluto, algunas pueden ser desarrolladas sólo en parte, y otras pueden ser ejecutadas más de una vez).

- **La Técnica de Evaluación y Revisión de Programa (TERP [PERT])** – utiliza una estimación de duración de promedio ponderado para calcular las duraciones de las actividades. Aunque existen diferencias superficiales, PERT se diferencia de MTC principalmente en que ésta utiliza la media de la distribución (valor esperado) en lugar de la estimación más probable utilizada originalmente en el método MTC (ver Figura 6-4). La PERT como tal es rara vez utilizada en la actualidad.

- **Compresión de la duración.** La compresión de la duración es un caso específico de análisis matemático que busca los medios para acortar el programa del proyecto sin cambiar el alcance del mismo (por ejemplo, para cumplir las fechas impuestas u otros objetivos del programa). La compresión de la duración incluye el uso de técnicas tales como:

- Compresión intensiva (“Crashing”) en la que se analizan las compensaciones de costo y programa a fin de determinar cómo, si es el todo posible, obtener la mayor cantidad de compresión al menos costo incremental. La compresión intensiva no siempre produce una alternativa viable y resulta, a menudo, en un mayor costo.
- Compresión por vía rápida (“Fast Track”)

- realizarlas actividades en paralelo en lugar de cómo se harían normalmente en secuencia (por ejemplo, comenzar a escribir el código de un proyecto de software antes de que se complete el diseño, o comenzar a construir la fundación de una planta de procesamiento de petróleo antes de alcanzar el punto de ingeniería del 25 por ciento). La vía rápida a menudo tiene como consecuencia la reejecución de la actividad y usualmente aumenta el riesgo.

• **Simulación.** La simulación implica calcular múltiples duraciones del proyecto con diferentes conjuntos de supuestos de actividades. La técnica más común es el Análisis de Monte Carlo, en el que se define la distribución de los resultados probables para el total del proyecto. Además, se pueden utilizar análisis “que pasaría si”, utilizando la red lógica para simular diferentes escenarios, como por ejemplo demorar la entrega de un componente importante, prolongar las duraciones de ingeniería específica o introducir factores externos (como por ejemplo, una huelga o un cambio en el proceso de solicitud de permisos). La consecuencia o resultado de las simulaciones qué-pasaría-si pueden utilizarse para evaluar la factibilidad del programa en condiciones adversas, y en la preparación de planes de respuesta / contingencia para superar o mitigar el impacto de situaciones inesperadas.

• **Heurística de nivelación de recursos.** El análisis matemático a menudo produce un programa preliminar de inicio adelantado que requiere de mayores recursos que los disponibles durante ciertos periodos de tiempo, o que requiere cambios en los niveles de recursos que no son manejables. La Heurística, como por ejemplo, “asignar los recursos escasos primero a aquellas actividades de trayectorias críticas”, puede aplicarse para desarrollar un programa que refleje tales restricciones. La nivelación de recursos a menudo da lugar a una duración de proyecto que es mayor que el programa preliminar. Esta técnica recibe el nombre, a veces, de método a base de recursos, especialmente cuando se implementa con optimización computarizada. La reasignación de recursos a partir de actividades no-críticas a actividades críticas, es una forma común de atrasar el programa o, de llevarlo lo más cerca posible, a su duración global que se pretendiera originalmente. También se debe considerar la utilización de horas de sobretiempo, fines de semana, o turnos múltiples, con el objeto de reducir las

duraciones de las actividades críticas. Los incrementos en productividad basados en el uso de diferentes tecnologías y/o maquinarias (es decir, soldadura automática, cortadoras eléctricas de cañerías, etc.) son otra forma de acortar las duraciones que han extendido el programa preliminar. La vía rápida (fast tracking), si fuera factible es otra forma de reducir la duración global del proyecto. Algunos proyectos pueden tener un recurso de proyecto finito y crítico, que exige que este recurso se programa a la inversa, a partir de la fecha de término del proyecto; esto se conoce como programación por asignación invertida de recursos. La cadena crítica es una técnica que modifica el programa del proyecto con el objeto de considerar aquellos recursos limitados.

- **Software de gestión de proyectos.** El software de gestión de proyectos es ampliamente utilizado para facilitar el desarrollo del programa. Existen otro software que pueden ser capaces de interactuar directa o indirectamente entre ellos mismos, o con otro software, con el propósito de llevar a cabo los requerimientos de otras áreas de conocimiento. Estos productos automatizan el cálculo del análisis matemático y de la nivelación de los recursos, y permiten así una rápida consideración de muchas alternativas de programas. Estos paquetes de software son utilizados ampliamente para imprimir o desplegar las salidas del desarrollo del programa.

- **Estructura de codificación.** Las actividades deben contar con una estructura de codificación que permita la clasificación y/o extracciones basándose en los diferentes atributos asignados a las actividades, como por ejemplo, responsabilidad, área geográfica o lugar, fase del proyecto, nivel del programa, tipo de actividad y clasificación de la EDT.

## **Resultados:**

• **Programa del proyecto.** El programa del proyecto incluye, al menos, las fechas de inicio planificada y de término esperada. Nota: El programa del proyecto permanece como preliminar hasta que se hayan confirmado las asignaciones de recursos. Esto debería suceder no más tarde al término del desarrollo del plan del proyecto el programa del proyecto se puede presentar en forma resumida (el programa maestro), o en detalle. Aunque se puede presentar en forma tabulada, se presenta más frecuentemente en forma gráfica, utilizando uno o más de los siguientes formatos:

- Diagramas de red del proyecto con información agregada de fechas. Estos gráficos muestran generalmente tanto la lógica del proyecto como las actividades de trayectoria crítica del proyecto (para más información sobre los diagramas de red del proyecto)
- Gráficos de barras, también llamados cartas Gantt muestran las fechas de inicio y término de la actividad, como así también las duraciones esperadas, y a veces muestran las relaciones de dependencia. Estos gráficos son relativamente fáciles de leer, y son frecuentemente utilizados en presentaciones gerenciales.
- Gráficos de hitos son similares a los gráficos de barras, pero sólo identifican el inicio programado o el término de las principales prestaciones y las interfaces externas claves.

• **Detalle de respaldo.** El detalle de respaldo para el programa del proyecto incluye al menos aquella documentación de todos los supuestos y restricciones que se hayan identificado. La cantidad de detalle adicional varía según el área de aplicación. Por ejemplo:

- En un proyecto de construcción, es muy probable que se incluyan aquellos ítems tales como histogramas de recursos,

proyecciones de flujo de caja y los programas para los despachos de órdenes y las entregas.

- En un proyecto electrónico, es muy probable que se incluyan los histogramas de recursos solamente. La información frecuentemente suministrada como detalle de respaldo incluye, pero sin limitarse a ello:

+ Los requerimientos de recursos por periodo de tiempo, a menudo en forma de un histograma de recursos.

+ Los programas alternativos (por ejemplo, el mejor o el peor caso, con recursos nivelados o no, con o sin fechas impuestas).

+ Las reservas por contingencia del programa.

• **Plan de gestión del programa.** Un plan de gestión de programa define cómo se gestionarán los cambios al programa. Este puede ser formal o informal, altamente detallado o ampliamente estructurado, según las necesidades del proyecto. Se trata de un elemento subsidiario del plan global del proyecto).

• **Actualizaciones de los requerimientos de los recursos.** Las actualizaciones de nivelaciones de recursos pueden tener un efecto significativo en las estimaciones preliminares de los requerimientos de recursos

## **V Control del programa**

El control del programa tiene que ver con (a) influir en los factores que crean cambios en el programa, de forma tal de asegurar que tales cambios sean convenientes, (b) determinar que se haya modificado el programa y, (c) gestionar los cambios reales cuando y a medida que estos se produzcan. El control del programa debe integrarse cabalmente con los demás procesos de control, Control Integrado de Cambios.

**TABLA 5: CUADRO DE CONTROL DEL PROGRAMA**

ENTRADAS	HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS	RESULTADOS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa del proyecto</li> <li>• Informes de rendimiento / desempeño</li> <li>• Solicitudes de cambio</li> <li>• Plan de gestión del programa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema de control de cambios de programa</li> <li>• La medición del rendimiento / desempeño</li> <li>• Planificación adicional</li> <li>• Software de gestión de proyectos</li> <li>• Análisis de la varianza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Actualizaciones del programa</li> <li>• Acción correctiva</li> <li>• Lecciones aprendidas</li> </ul>

Fuente: PMBOK (2012).

**Entradas:**

• **Programa del proyecto.** El programa del proyecto se describe en la Sección 6.4.3.1. El programa de proyecto aprobado, denominado base del programa (que debe ser técnicamente factible y estar dado en términos de los recursos), es un componente del plan del proyecto que se describe en la. Este sienta las bases para medir y reportar el rendimiento / desempeño del programa.

• **Informes de rendimiento / desempeño.** Los informes de rendimiento / desempeño, suministran información sobre el rendimiento del programa, como por ejemplo qué fechas planificadas se han cumplido y cuáles no. Los informes de rendimiento pueden, además, alertar al equipo del proyecto sobre temas que pueden llegar a causar problemas en el futuro.

• **Solicitudes de cambio.** Las solicitudes de cambios pueden ocurrir de varias formas – orales o escritas, directas indirectas, de iniciación externa o interna y, por mandato legal u opcionales. Los cambios pueden requerir la ampliación del programa o bien permitir la aceleración de éste.

• **Plan de gestión del programa.** Un plan de gestión de programa define cómo se gestionarán los cambios al programa. Este puede ser formal o informal, altamente detallado o ampliamente estructurado, según las necesidades del proyecto. Se trata de un elemento subsidiario del plan global del proyecto.

#### **Herramientas:**

• **Sistema de control de cambios de programa.** Un sistema de control de cambios de programa define los procedimientos por medio de los cuales se puede modificar o cambiar el programa del proyecto. Este incluye el papeleo, los sistemas de seguimiento y los niveles de aprobación necesarios para autorizar los cambios. El control de cambios de programa se debe integrar al sistema de control integrado de cambios.

• **La medición del rendimiento / desempeño.** Las técnicas de medición del rendimiento / desempeño, ayudan a evaluar la magnitud de cualquier variación que llegue a ocurrir. Una parte importante del control del programa es la de decidir si la variación del programa requiere de una acción correctiva. Por ejemplo, un atraso mayor de una actividad no-crítica puede tener un efecto menor en el proyecto como un todo, mientras que un atraso menos prolongado de una actividad crítica o casi-crítica puede requerir la aplicación de una acción inmediata.

• **Planificación adicional.** Son pocos los proyectos que se ejecutan exactamente de acuerdo a lo planificado. Los cambios potenciales pueden requerir de estimaciones nuevas o revisadas de duración de las actividades, secuencias modificadas de las actividades o el análisis de programas alternativos.

• **Software de gestión de proyectos.** La capacidad del software de gestión de proyectos para hacer un seguimiento de las fechas planificadas versus las fechas reales y para predecir los efectos de los cambios de programa, reales o potenciales, lo convierten en una herramienta de mucha utilidad para el control del programa.

• **Análisis de la varianza.** El rendimiento del análisis de la varianza durante el proceso de monitoreo del programa es un elemento clave para el control del tiempo. La comparación de las fechas metas con las fechas de inicio y término reales / estimadas, proporciona información útil para la detección de las desviaciones y para la implementación de soluciones correctivas en caso de atrasos o demoras. La varianza flotante es también un componente esencial de la planificación, de forma tal de evaluar el rendimiento del tiempo del proyecto. Se debe prestar una atención especial a las actividades críticas y sub-críticas (es decir, analizar las diez trayectorias sub-críticas, con el fin de ascender el punto flotante).

#### **Resultados:**

• **Actualizaciones del programa.** Una actualización del programa es cualquier modificación de la información del programa que se utiliza para gestionar el proyecto. Se debe notificar de ello a los accionistas correspondientes, según sea necesario. Las actualizaciones de programa pueden o no requerir ajustes en otros aspectos del plan del proyecto. Las

revisiones son una categoría especial de actualizaciones de programa. Las revisiones son los cambios realizados a las fechas de inicio y término del programa aprobado del proyecto. Estos cambios son, generalmente, incorporados en respuesta a los cambios de alcance o a cambios de las estimaciones. En algunos casos, los atrasos de programa pueden ser tan graves que hace necesario un replanteamiento de las bases, a fin de proporcionar información realista para medir el rendimiento. Sin embargo, se debe ser muy cuidadoso antes de replantear las bases, por cuanto se perderá información histórica para el programa del proyecto. El replanteamiento de las bases sólo se debe utilizar como último recurso en el control del programa; el modo normal de revisión del programa deben ser nuevos programas metas.

• **Acción correctiva.** La acción correctiva es todo aquello que se realiza para alinear el rendimiento esperado del programa a futuro con el plan del proyecto. La acción correctiva en el área de gestión de tiempo implica, a menudo, emitir acciones especiales que se llevan a cabo con el objeto de asegurar el término de una actividad a tiempo o con el menor atraso posible. La acción correctiva requiere, frecuentemente, el análisis de las causas básicas, a fin de identificar la causa de la variación, y se puede planificar y ejecutar la recuperación del programa para aquellas actividades desalineadas más adelante, y no sólo abordando la actividad que causa la desviación.

• **Lecciones aprendidas.** Se deben documentar las causas de las variaciones, el razonamiento que impulsa la acción correctiva elegida y, otros tipos de lecciones aprendidas del control del programa, de modo tal que éstas sean incorporadas a la base de datos histórica tanto de este proyecto como de otros proyectos de la organización ejecutante.

### **2.2.3 Proyecto**

Según la Guía del PMBOK (2012), un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y un final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto. Asimismo, se puede poner fin a un proyecto si el cliente (cliente, patrocinador o líder) desea terminar el proyecto. Que sea temporal no significa necesariamente que la duración del proyecto haya de ser corta. Se refiere a los compromisos del proyecto y a su longevidad. Por otra parte, los proyectos pueden tener impactos sociales, económicos y ambientales susceptibles de perdurar mucho más que los propios proyectos.

### **2.2.4 Filosofía Lean**

Lean es una filosofía que involucra a todos los departamentos de las empresas. Está basada en la eliminación de desperdicios, con el objetivo de reducir costos y tiempos de entrega y mejorar la calidad de los productos. Puede ser aplicada en cualquier tipo de compañía, ya sea grande o pequeña.

La filosofía Lean nació en los años 50, en Japón, en la empresa Toyota. En esta compañía, que comenzaba fabricar automóviles, se dieron cuenta de que era muy importante optimizar los procesos. A raíz de esto, crearon herramientas y metodologías que colaborasen en la mejora del proceso de fabricación de automóviles.

El personal de Toyota comenzó a desarrollar mecanismos para mejorar sus procesos enfocados en el área de manufactura. Luego, su filosofía se reveló al mundo. Los estudiosos de

Occidente, quienes la denominaron manufactura ágil, se dieron cuenta que aplicando estas herramientas se mejoraban en gran medida los procesos, se disminuían los tiempos de ciclo, los defectos, los problemas, se mejoraba notablemente la calidad y por lo tanto, se disminuían los costos y se aumentaba la rentabilidad de las empresas.



**GRÁFICO 1: PIRÁMIDE DE LA FILOSOFÍA LEAN**

**FUENTE: Brioso,X. (2014)**

A raíz de las adaptaciones se sumaron a *Lean Manufacturing*: *Lean Office*, para procesos de oficina; *Lean Logisticis*, para los procesos de logística; *Lean Health Care*, para los procesos de prestación de salud; *Lean Hospitality*, para los hoteles; y *Lean Government*, por ejemplo, el cual ya fue implementado por gobiernos de diferentes países.

Una de las primeras ramas que surgió fue *Lean Logistics*, dado que las empresas percibieron de que al mejorar sus procesos de manufacturas, sus restricciones se trasladaban a sus procesos

de adquisición, de almacenaje y de distribución. *Lean Logistics* son principios de agilidad aplicados a todos los procesos de logísticos, desde la compra de los insumos y su almacenamiento, hasta el almacenamiento y la distribución del producto terminado.

### **¿Qué busca el Lean y en dónde se aplica?**

Lean busca reducir desperdicios, variabilidad e inflexibilidad en toda la cadena de valor de la empresa. Típicamente “*Lean*” identifica ocho formas de desperdicio:

**Sobreproducción:** Producir más, muy rápido o con mucha anticipación respecto a lo que el cliente exige o servir a clientes que no debemos de servir.

**Movimiento:** Cualquier movimiento de materiales, personas, equipos e información que no agreguen valor.

**Inventario:** Tener más que el mínimo de lo que se necesita (materia prima, trabajo en progreso, productos terminados, solicitudes de clientes) para cumplir el trabajo.

**Tiempo de espera:** Personas o partes, sistemas o instalaciones que estén en espera por otros ciclo de trabajo o en espera por papeleo de información o la toma de decisiones.

**Procesamiento adicional:** Trabajar más allá del estándar requerido por el cliente.

**Transporte:** Transportar innecesariamente piezas, materiales o información entre los procesos o enviar documentos por correo/faxes que pueden ser enviados electrónicamente.

**Correcciones:** Cualquier reparación o re-trabajo para corregir algo.

**Intelectual:** Cualquier falla para aprovechar el tiempo y/o talento de las personas.

### 2.2.5 Lean Production

El *lean Production* es un sistema que tiene como finalidad eliminar o reducir al máximo los elementos que no aporten de manera positiva en recursos, tiempo, espacio u otros; para agregarle valor al producto, ya que como sabemos lo que busca el Lean production es agregarle valor a sus productos eliminando actividades innecesarias (desperdicios).

La nueva filosofía de producción considera los siguientes elementos dentro de su diseño y control de la producción:

#### **Identificar actividades que no agregan valor**

Se identifican las actividades que no agregan valor y se tratan de reducir y en el mejor de los casos eliminar para generarle ganancias al proyecto, estas pueden ser en costo, tiempo, etc. Por lo tanto identificar estas actividades es primordial para reducir las pérdidas. (koskela Lauri, 1992).

#### **Incrementar el valor del producto**

Los beneficios obtenidos de eliminar las perdidas en general deben enfocarse en incrementar el valor del producto para el cliente final, esto se puede lograr

Poniéndonos en perspectiva del cliente y haciendo que nuestro producto iguale y en el mejor de los casos supere las expectativas que estos tienen sobre el producto. (koskela Lauri, 1992).

#### **Reducir la variabilidad.**

La variabilidad afecta negativamente todos los ámbitos de la producción y también es algo negativo para el cliente, por lo cual es importante la reducción de la variabilidad para evitar

problemas con las programaciones y la satisfacción del cliente. (koskela Lauri, 1992).

### **Reducción del tiempo del ciclo.**

El tiempo que dura un ciclo se puede reducir con la teoría de lotes de producción y lotes de transferencia, la cual nos dice que si dividimos nuestra producción (lote de producción) en lotes pequeños (lotes de transferencia) que vamos transfiriendo de proceso a proceso, nuestro ciclo tendrá una duración menor que si introducimos todo el lote a un proceso y esperamos a que todo el paquete esté listo para llevarlo al siguiente proceso o actividad. (koskela Lauri, 1992).

### **Simplificación de procesos.**

La simplificación de procesos consiste en mejorar el flujo por medio de la reducción de los procesos involucrados para de ese modo controlar mejor estos procesos y reducir la variabilidad y el costo de realización de cada proceso. (koskela Lauri, 1992).

### **Incrementar la transparencia en los procesos.**

Mientras mayor sea la transparencia de un proceso serán mayores las posibilidades de inspeccionarlo y así evitar errores que pasaran a ser trabajos rehechos, los cuales son pérdidas para el proyecto. (koskela Lauri, 1992).

### **Mejoramiento continuo**

Este principio está basado en la filosofía Japonesa Kaisen, esta se basa en la identificación de las causas de no cumplimiento de las actividades para tratar de solucionarlas en siguientes proyectos y así ir mejorando continuamente. (koskela Lauri, 1992).

### **Referenciar los procesos (Benchmarking).**

Esto se basa en comparar nuestros procesos con los procesos de la empresa líder en nuestro campo de acción para tener ideas de mejora basándonos en el potencial de las empresas de la competencia. (koskela Lauri, 1992).

#### **2.2.6 Lean Construction**

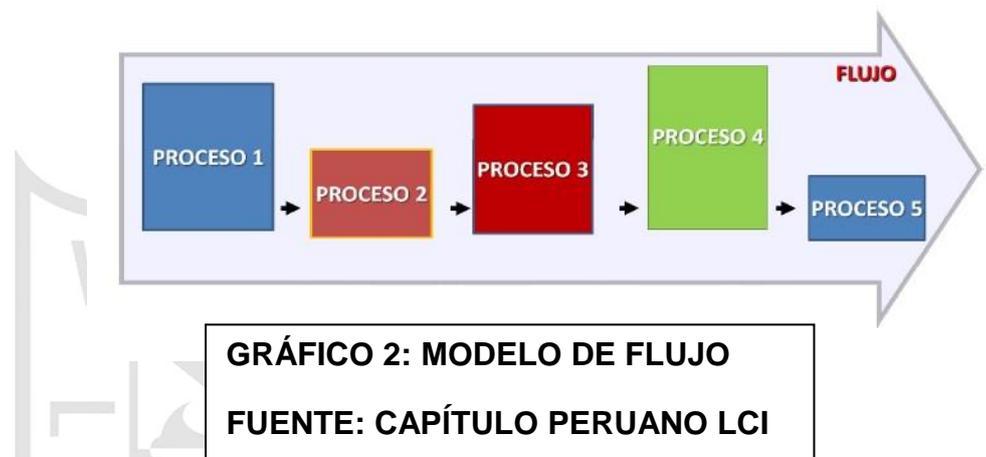
*Lean Construction* (Construcción sin Pérdidas en español) es un enfoque dirigido a la gestión de proyectos de construcción. Se originó en el *Lean Production Management*, el cual produjo una revolución en el diseño y producción industrial en el siglo XX. Este ha cambiado la forma de planear, ejecutar y control los proyectos de construcción. Esta filosofía maximiza el valor y minimiza las pérdidas de los proyectos, mantiene técnicas que aumentan la productividad de los procesos de construcción. Como resultado de su aplicación se pueden obtener los siguientes resultados:

- El proceso de construcción y de operación del proyecto es diseñado conjuntamente para satisfacer las necesidades de los clientes.
- El trabajo del proyecto se estructura sobre los procesos, con el objetivo de maximizar el valor y reducir las pérdidas en el desarrollo de actividades de construcción.
- El desempeño de la planeación y el sistema de control son medidos y mejorados.

La filosofía *Lean Construction* busca dar una solución a los problemas que se tiene en la metodología actual de construcción en lo que respecta al costo, plazo y productividad en las obras, la metodología que propone para lograr dicho objetivo es generar un sistema de producción efectivo, para lo cual se tienen que cumplir con 3 objetivos básicos según orden de prioridad.

## 1) Flujos sin para

Este primer objetivo que es el más importante de la filosofía lean construction propone centrarnos en que el flujo sea continuo, sin preocuparnos de la eficiencia de los procesos y flujos. Esto se debe a que al tener flujos continuos el trabajo no se detendrá y podremos observar las fallas en cada proceso y los flujos entre estos para eliminarlos como siguiente medida.



En esta imagen podemos observar el primer objetivo, se logra continuidad del proceso general, pero salta a la vista que se tienen pérdidas debido a que la capacidad de producción de cada proceso es distinta y por consiguiente también lo son los flujos.

Como medidas para lograr el primer objetivo la filosofía Lean Construction propone 2 tipos de acciones importantes que son el manejo de la variabilidad y el uso del sistema *Last Planner*.

**Manejo de la variabilidad:** tiene mayor importancia en proyectos de infraestructura y que están alejados de las ciudades, ya que en esas situaciones la variabilidad es mucho mayor que para el caso de edificaciones. Lean Construction propone manejar la variabilidad con el uso de Buffers.

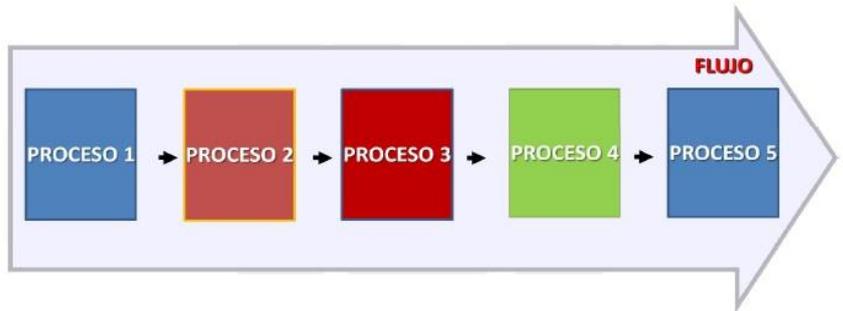
**Sistema Last Planner:** Esta herramienta tiene mayor importancia para proyectos de edificaciones donde la variabilidad es menor y un poco más controlable, este sistema logra asegurar que lo planificado se ejecute con mayor probabilidad de éxito, es decir incrementa la confiabilidad de la construcción.

## 2) Flujos eficientes

Es el segundo objetivo que se tiene que cumplir para tener un sistema de producción efectivo y este se logra dividiendo el trabajo total equitativamente entre los procesos para de esa manera tener procesos y flujos balanceados. Para lograr esto se utilizan los principios de física de producción y el tren de actividades.

**Física de producción:** se utilizan conceptos de la teoría de restricciones según los cuales se debe de balancear los flujos entre procesos porque todo el sistema está restringido por el proceso que genera el menos flujo y es dicho proceso el que determina la capacidad de producción del sistema.

**Tren de actividades:** propone la división de la cantidad de trabajo en partes iguales que puedan ser ejecutadas por cada proceso en un mismo tiempo balanceando adecuadamente los recursos y estableciendo una secuencia lineal de actividades.



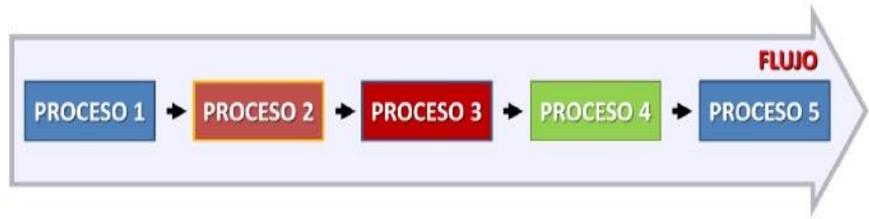
**GRÁFICO 3: MODELO DE FLUJO CON FLUJOS EFICIENTES**  
**FUENTE: CAPÍTULO PERUANO LCI**

Al aplicar las herramientas mencionadas se obtendrá el flujo del sistema que se muestra en la imagen, según el cual se tiene un flujo continuo y simétrico entre los procesos cumpliendo así el segundo objetivo.

### 3) Procesos Eficientes

Cumpliendo los dos primeros objetivos el último para lograr el sistema de producción efectivo que busca la filosofía *Lean Construction* es lograr que los procesos sean eficientes, lo cual se hará en base a la optimización de procesos con las herramientas que propone la filosofía Lean.

**Optimización de Procesos:** las herramientas que se propone para lograr esta optimización en cada proceso son las cartas de balance y el nivel general de actividad, a partir del uso de dichas herramientas se puede entender el estado de un proceso y la manera de optimizarlo.



**GRÁFICO 4: MODELO DE FLUJO CON PROCESOS EFICIENTES**

**FUENTE: CAPÍTULO PERUANO LCI**

Como se aprecia en la imagen lo que se gana con este último objetivo es dimensionar adecuadamente los procesos y recursos eliminando el desperdicio dentro de cada proceso y logrando que todo el sistema de producción sea efectivo, ya que se tendrá un flujo continuo con procesos eficientes y por lo tanto el flujo dentro del sistema también lo será.

### **2.2.7 Sistema *Last Planner***

El sistema *Last Planner*, es una herramienta que nos ayuda a mejorar el flujo de las actividades programadas, reduciendo la variabilidad que existen en proyectos de construcción, por tanto, nos ayuda al mayor cumplimiento de las actividades.

#### **Implementación del Sistema *Last Planner***

La implementación de *Last Planner* es muy sencilla pero requiere de un estricto cumplimiento. Esta consiste en general en crear planificaciones intermedias y semanales, enmarcadas dentro de la programación inicial o plan maestro del proyecto, analizando las restricciones que impiden el normal desarrollo de las actividades. Estas tres planificaciones forman una especie de pirámide (Gráfico 10) en donde la base que la sustenta es el plan maestro.

En la determinación de los planes deben participar el equipo de trabajo del proyecto. Cada uno de los miembros debe contribuir a que los planes sean congruentes entre sí.

El plan maestro cubre todas las actividades de construcción del proyecto; desde su inicio hasta su terminación. El plan intermedio se obtiene del plan maestro y puede realizarse para un plazo de 3 meses. Cuando se ejecute el primer plan intermedio, se debe crear otro para las actividades del próximo trimestre, y así sucesivamente hasta terminar la obra. El plan semanal se determina con base en el plan intermedio. Este plan contiene las actividades que se ejecutarán cada semana.



**GRÁFICO 5: PIRÁMIDE DE PLANEAMIENTO**

**FUENTE: BRIOSO,X (2014)**

Un paso de estricto cumplimiento en el desarrollo de cada uno de los planes, es la revisión de las restricciones para su realización. Cada plan debe estudiarse cuidadosamente con el fin de determinar si existe restricción para su cumplimiento (Tabla 2.1). Una actividad no debe ser planeada si existe una restricción para realizarla. Cada proyecto tiene restricciones particulares; no obstante, las principales son: Falta de diseños,

materiales, mano de obra, equipos y actividades previas sin realizar.

**TABLA 6: CUADRO DE RESTRICCIONES**

ACTIVIDADES (SE DEBEN HACER)	DISEÑO	MATERIALES	MANO DE OBRA	EQUIPOS	PRE-REQUISITOS	SE PUEDEN HACER
Actividad No. 1	SI	SI	SI	SI	SI	SI
Actividad No. 2	SI	NO	NO	SI	SI	NO
Actividad No. 3	SI	SI	SI	SI	NO	NO
Actividad No. 4	SI	SI	NO	SI	NO	NO

**Fuente: Brioso, X (2014)**

Un paso clave en la implementación del *Last Planner*, es llevar un registro detallado de los problemas que se presentan para cumplir las actividades planeadas. Para esto, se construye semanalmente el indicador de porcentaje de actividades cumplidas (PAC en español o PPC en inglés). El PAC se puede calcular para el total de actividades de una semana en particular o para el total de actividades ejecutadas en un período que puede ser tan largo como el total del plazo de construcción de la obra. Este indicador es muy útil para llevar un control de la evolución de la implementación del sistema. Junto con la información de las causas de no cumplimiento constituyen una herramienta útil para el planeamiento de actividades intermedias y semanales

### FÓRMULA 1

#### FORMULA DE PORCENTAJE DE ACTIVIDADES CUMPLIDAS

$$PAC = \frac{\text{Número de actividades cumplidas}}{\text{Número de actividades programadas}} \times 100\%$$

FUENTE: Ing. Xabier Brioso (2014)

Finalmente, la comunicación de los planes debe realizarse de forma pública. Todos los integrantes del proyecto deben conocerlos. Se deben comunicar estas planificaciones, especialmente, a los contratistas y modificarlas, si es el caso, al encontrarse alguna restricción que no se había contemplado. Además, realizar reuniones semanales con ellos. Con esto se logra que todos los que trabajan en la obra tengan una visión general del proyecto y no simplemente de sus tareas individuales.

### **2.2.8 Diagrama Gantt**

El diagrama de Gantt es una herramienta que se emplea para planificar y programar tareas a lo largo de un período determinado de tiempo. Gracias a una fácil y cómoda visualización de las acciones a realizar, permite realizar el seguimiento y control del progreso de cada una de las etapas de un proyecto. Reproduce gráficamente las tareas, su duración y secuencia, además del calendario general del proyecto y la fecha de finalización prevista.

Desarrollado por Henry Laurence Gantt a principios del siglo XX, el diagrama se muestra en un gráfico de barras horizontales ordenadas por actividades a realizar en secuencias de tiempo concretas. Las acciones entre sí quedan vinculadas por su posición en el cronograma: por ejemplo, el inicio de una tarea que depende de la conclusión de una acción previa se verá representada con un enlace del tipo fin-inicio. También se reflejan aquéllas cuyo desarrollo transcurre de forma paralela en el tiempo. Además, se pueden asignar a cada actividad los recursos que ésta necesita, con el fin de controlar los costes y personal requeridos.

Para la gestión de proyectos, se ha desvelado como un método muy eficaz. Se trata de una forma visual de transmitir las actividades a realizar, la interdependencia entre ellas y su temporalización. Intentar explicar lo mismo con palabras resultaría demasiado confuso. Por eso, está especialmente recomendado cuando el propósito es comunicar las diferentes etapas de un proyecto a las personas involucradas de la forma más clara posible. Demasiada complejidad produciría sobrecarga de información y la gente se sentiría abrumada.

Gracias al diagrama de Gantt, es posible una monitorización clara del progreso para descubrir con facilidad los puntos críticos, los períodos de inactividad y para calcular los retrasos en la ejecución. De este modo, ayuda a prever posibles sobre costos y permite reprogramar las tareas de acuerdo a las nuevas condiciones.

## **2.2.9 Línea de Balance**

### **2.2.9.1 Concepto**

La Línea de Balance es un método de programación gráfica que considera a la localización explícitamente como una dimensión. Esto facilita la planificación de recursos, lo cual a su vez permite ahorros en el costo y un menor riesgo en la programación, así como la permanencia en el sitio de las cuadrillas de trabajo (Leskela, 2004).

El método de la Línea de Balance muestra los trabajos que se van a desarrollar en una obra de construcción con un conjunto de líneas, cada línea es una actividad, y al igual que el diagrama Gantt, en el eje horizontal se muestra el tiempo, pero en el eje vertical, se muestra la localización donde se desarrollarán estos trabajos. De esta manera, las pendientes de las líneas nos informan

sobre la velocidad de trabajo de cada actividad, si una línea corresponde a una actividad planificada, ella nos indicará la velocidad a la cual debemos trabajar; una vez iniciada la obra, si su pendiente es menor a la planificada nos alertará indicándonos que no terminaremos de acuerdo a lo planificado porque podremos generar un retraso en cadena aguas abajo. Si por el contrario, la pendiente fuese mayor, el gráfico nos alertará indicándonos que nos quedaríamos en algún momento sin “cancha de trabajo” y que además estaríamos incurriendo en distraer recursos destinados a avanzar trabajos que luego van a estar a la espera de espacio, convirtiéndose en inventarios que generan pérdidas.

Es así que una gráfica de Línea de Balance no muestra tanto el detalle interno del trabajo de una actividad, sino más bien muestra su correlación y desempeño respecto a las otras actividades del proyecto, la gráfica entre otras cosas muestra de manera muy visual el ritmo global de la obra, por lo que cumple con el principio de la Teoría de Restricciones de preocuparse primero de la productividad global antes que la productividad local, y también cumple con los objetivos principales de una Programación Maestra de hacer una programación orientada a fases y a hitos con los cuales debe comprometerse la empresa constructora antes de firmar el respectivo contrato.

Lo ideal de una programación por Línea de Balance de un proyecto de construcción, es que todo el conjunto de líneas tengan las mismas pendientes, es decir sean paralelas; si esto fuera así, la obra tendría un ritmo constante, lo que facilitaría de gran manera que el Lookahead sea más predecible y que el análisis de

restricciones libere una programación semanal más estable, lo cual se reflejaría en un buen nivel de Porcentajes de Planificación Cumplida a lo largo de la obra.

## Usos

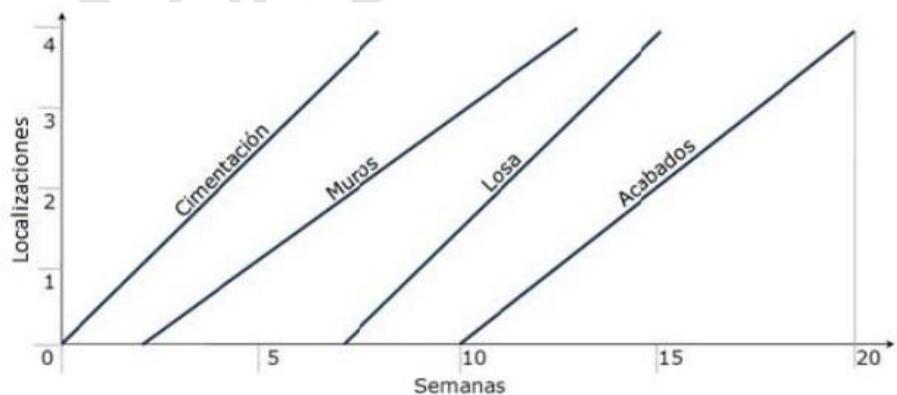
La Línea de Balance tiene como objetivo lo siguiente:

**Planificación:** Establecer los plazos del cronograma, los fechas hitos y la ruta crítica.

**Reprogramación:** Acortar la duración del cronograma de un proyecto en base a una fecha tope.

**Control:** Procedimiento de control de un proyecto, para eliminar o reducir las actividades que generen excesos en tiempo y costo, esto fundamentalmente cuando existen retrasos en el proyecto (o adelantos).

Las Líneas de Balance para un proyecto modelo tiene el siguiente aspecto:



**GRÁFICO 6: LINEA DE BALANCE DE UN PROYECTO DE CUATRO CASAS**

**Fuente: Ing. Xavier Brioso (2014)**

En este caso la localización se definen por vivienda es decir cada localización es una vivienda.

En el Eje “X” se define el tiempo y en el Eje “Y” la localización.

Otra de las utilidades de la Línea de Balance es que en ella se puede ver el avance real del proyecto y hacer el contraste respectivo, e inclusive se puede extrapolar la fecha de término de una actividad basándose en el ritmo real de trabajo. El sistema del control basado en la localización muestra cuatro escenarios (Sepannen, 2010)

**Línea Base:** La cual constituye toda la programación inicial e incluye todos los datos que se deben tomar en cuenta para ella.

**Línea corriente:** Que representa la posición actual de una tarea, recibe las restricciones a partir de la Línea Base e informa de los cambios de cantidades, ratios, planes y secuencias.

**Progreso:** Monitorea el desempeño real del proyecto.

**Pronóstico:** Recopila la información de b y c para emitir alertas tempranas para la toma de decisiones.

#### 2.2.9.2 Ventajas y Desventajas

##### Ventajas

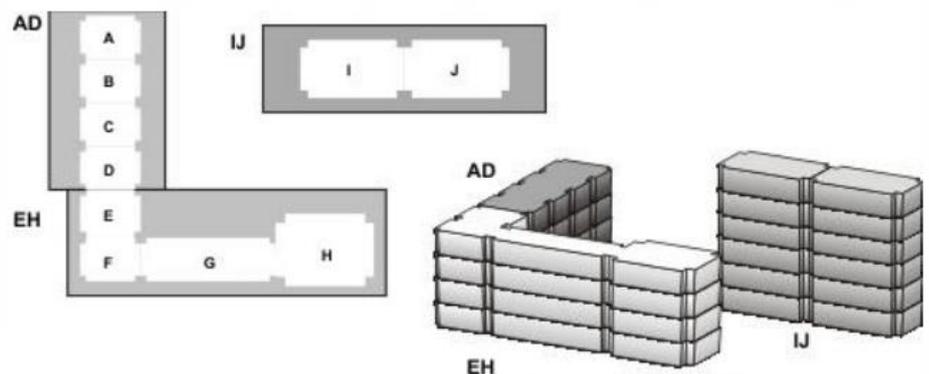
- Todo el cronograma se presenta en una sola vista.
- Disminuye el riesgo de la programación debido a que no se realiza tan exacta.
- Visualización entre la relación de tareas.
- Visualización de la productividad.
- Facilidad para detectar retrasos.

### Desventajas

- Poco interés de los especialistas por aplicar esta técnica debido a que prefieren mantener el cronograma en Diagrama Gantt.
- Falta de software para aplicarlo en la construcción.
- El tiempo que demanda realizarlo manualmente es extenso.

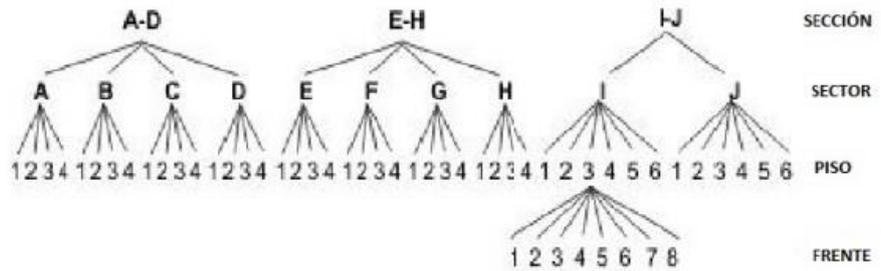
### 2.2.9.3 Estructura fraccionada de la localización (LBS)

Kenley y Sepannen (2009) sostienen que las localizaciones de un proyecto requieren el establecimiento de una estructura fraccionada de ubicación jerárquica, es conocida como *Location Breakdown Structure* (LBS), y se define para asumir una realidad física, así como la organización del trabajo en obra. El LBS se refiere a un desglose físico del proyecto, tal como muestra en la Gráfica 2.7, para los que la estructura fraccionada sería la que se muestra en la Gráfica 2.8.



**GRÁFICO 7: LAYOUT TÍPICO DE UN PROYECTO**

**Fuente: Kenley y Sepannen (2009)**



### GRAFICO 8: LBS DEL PROYECTO DEL GRÁFICO 7

Fuente: Kenley y Sepannen (2009)

Según Kenley y Sepannen una Localización debe recolectar una serie de datos mínimos, los cuales deben proveer de información para el siguiente proyecto esto cumple con el principio de mejora continua, los datos son:

- Los objetos de construcción o componentes, tales como elementos y subsistemas. Vale mencionar que tradicionalmente los objetos o elementos de construcción han estado disponibles en CAD, es decir los planos. Kenley y Sepannen sostienen que estos deberían ser documentados en objetos 3D.
- Cantidades planeadas y reales de los componentes. Estas preferiblemente deben ser medidas a partir de un modelo 3D, también es admisible la medición en campo aunque la medición manual debería ser redundante con la tecnología 3D. (Kenley y Sepannen 2009).
- Sistema de ensamblaje y producción de las edificaciones En un sistema de construcción, el montaje de los componentes es muy importante, incluyendo el método seleccionado de construcción (Kenley y Sepannen 2009).

- Costos planeados y reales. Costos asociados con lo planeado y la cantidad real de materiales (Kenley y Sepannen 2009).

#### 2.2.9.4 La Velocidad

La velocidad se define como espacio entre tiempo. En el caso de las Líneas de Balance, se entiende a la velocidad como ritmo y se visualiza como la pendiente de cada línea. En el Gráfico 2.9, se representa el ritmo con la letra "r".



**GRÁFICO 9: CÁLCULO DE LA VELOCIDAD EN LA LÍNEA DE BALANCE**  
Fuente: Ing. Xabier Brioso (2014)

También se puede calcular mediante la siguiente fórmula matemática:

### FÓRMULA 2

#### FORMULA DE LA VELOCIDAD

$$velocidad = \frac{\text{número de pisos}}{\text{periodo de tiempo}} = \frac{P_n - P_o}{D_n - D_o + 1}$$

FUENTE: Ing. Xabier Brioso (2014)

El periodo del tiempo depende de cada planificador, puede ser días o semanas.

A partir de la velocidad, y según metrado por cada piso podemos hallar el rendimiento.

### FÓRMULA 3

#### FORMULA DEL RENDIMIENTO

$$Rendimiento = velocidad * \sum \text{metrado por piso}$$

FUENTE: Ing. Xabier Brioso (2014)

Luego, en base al rendimiento y el número de horas de trabajo por día, número de personas por cuadrilla y número de cuadrillas trabajadas, se puede calcular el ratio de cada partida.

### FÓRMULA 4

#### FORMULA DEL RATIO

$$Ratio = \frac{\text{Jornada} * \text{número de personas por cuadrilla} * \text{número de cuadrillas}}{\text{rendimiento}}$$

FUENTE: Ing. Xabier Brioso (2014)

## 2.3 Marco Conceptual

- **Actividad de la ruta crítica**

Cualquier actividad en la ruta crítica del cronograma del proyecto. (PMBOK,2012).

- **Actividad predecesora**

Una actividad que precede desde el punto de vista lógico a una actividad dependiente en un cronograma. (PMBOK, 2012).

- **Alcance del proyecto**

El trabajo realizado para entregar un producto, servicio o resultado con las funciones y características especificadas. (PMBOK, 2012).

- **Análisis de la red del cronograma**

La técnica de identificar fechas de inicio tempranas y tardías, así como fechas de finalización tempranas y tardías, para las partes no completadas de actividades del cronograma del proyecto. (PMBOK, 2012).

- **Controlar**

Comparar el desempeño real con el desempeño planificado, analizar las variaciones, evaluar las tendencias para realizar mejoras en los procesos, evaluar las alternativas posibles y recomendar las acciones correctivas apropiadas según sea necesario. (PMBOK, 2012).

- **Controlar el Alcance**

El proceso de monitorear el estado del proyecto y del alcance del producto, y de gestionar cambios a la línea base del alcance. (PMBOK, 2012).

- **Controlar el cronograma**

El proceso de monitorear el estado de las actividades del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar cambios a la línea base del cronograma a fin de lograr el plan. (PMBOK, 2012).

- **Cronograma del proyecto**

Una salida de un modelo de programación que presenta actividades vinculadas con fechas planificadas, duraciones, hitos y recursos. (PMBOK, 2012).

- **Cronograma maestro**

Un cronograma del proyecto resumido que identifica los principales entregables, componentes de la estructura de desglose del trabajo y los hitos clave del cronograma. (PMBOK, 2012).

- **Diagrama de barras**

Representación gráfica de información relativa al cronograma. En el típico diagrama de barras, las actividades del cronograma o los componentes de la estructura de desglose del trabajo se listan de arriba hacia abajo en el lado izquierdo del diagrama, los datos se presentan en la parte superior y la duración de las actividades se muestra como barras horizontales ubicadas según fecha. (PMBOK, 2012).

- **Línea base del cronograma**

La versión aprobada de un modelo de programación que sólo puede cambiarse a través de procedimientos formales de control de cambios y que se utiliza como base de comparación con los resultados actuales. (PMBOK, 2012).

- **Modelo de programación**

Una representación del plan para ejecutar las actividades del proyecto que incluye duraciones, dependencias y demás información

de planificación, utilizada para generar un cronograma del proyecto junto con otros objetos de planificación. (PMBOK, 2012).

- **Plan de gestión del cronograma**

Un componente del plan para la dirección del proyecto que establece los criterios y las actividades para desarrollar, monitorear y controlar el cronograma. (PMBOK, 2012).

- **Planificar la gestión del cronograma**

El proceso de establecer las políticas, los procedimientos y la documentación para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma del proyecto. (PMBOK, 2012).

- **Pronóstico del cronograma**

Estimaciones o predicciones de condiciones y eventos en el futuro del proyecto, basadas en la información y el conocimiento disponibles en el momento de calcular el cronograma. (PMBOK, 2012).

## **2.4 Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis General**

Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control de avance, **SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

### **2.4.2 Hipótesis Específicas**

Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control de avance, **SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control de rendimiento, **SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control visual, **SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar



## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

#### 4.3 Tipo de investigación

La presente investigación se presenta como una investigación **cualitativa**, debido a que partir de una problemática trazaremos los objetivos, estableciendo hipótesis y variables, tendremos como resultado la descripción de las características de las mismas.

#### 4.3 Nivel de investigación

Es del tipo **descriptivo** porque se indagará la incidencia de los diferentes niveles de las variables en el caso de estudio, tal y como se pudo observar en el momento de su recolección.

#### 4.3 Diseño de investigación

Se define **experimental**, debido a que el estudio se realizará con la manipulación deliberada de las variables.

Es **Longitudinal** porque se recolectarán datos en el transcurso del tiempo, con el propósito de describir las variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Teniendo en cuenta esto se puede clasificar el diseño de la presente Investigación como **Retrospectivo** debido a que la información es captada en el pasado y analizada en el presente.

### 4.3 Variables

La variable dependiente en el caso será la Gestión del tiempo, debido a que esta no se manipulara, sino que se medirá para ver el efecto que la variable independiente tiene en ella, es una variable cualitativa debido a que se refiere a los procesos de la gestión de planeamiento que no se podrán medir con números, y es del tipo ordinal porque establece un orden en la aplicación de los procesos de la gestión de planeamiento en el caso de estudio.

Mientras que nuestras variables independientes será la Línea de Balance ya que no se podrá modificar y solo se seguirán sus lineamientos.

“Optimización de la **gestión del tiempo** en la etapa de casco estructural en un edificio multifamiliar utilizando el método de **línea de balance**”

- **Variable dependiente:** Gestión del tiempo
- **Variables independientes:** Línea de Balance

### 4.3.3 Operacionalización de Variables

**TABLA 7: OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES – VARIABLE DEPENDIENTE**

VARIABLE	INDICADORES	ÍNDICES	INSTRUMENTOS	ITEMS
GESTIÓN DEL TIEMPO	- CONTROL DE AVANCE	a) Planificar el avance del proyecto	RECOLECCIÓN DE DATOS	1 -4
		b) Control de m/o de fierro		
		c) Control de m/o de encofrado		
	- CONTROL DE RENDIMIENTOS	d) Control de m/o de acero	RECOLECCIÓN DE DATOS	5 - 8
		a) Planificar el rendimiento del proyecto.		
	- CONTROL VISUAL	b) Control de m/o de fierro	RECOLECCIÓN DE DATOS	9
		c) Control de m/o de encofrado		
		d) Control de m/o de acero		
		a) Planificar el control visual de la obra.		

**Fuente: Elaborado por el autor**

### 4.3.3 Definición Operacional de Variables

**Gestión del tiempo:** variable dependiente de tipo cualitativo ordinal.

**Control de Avance:** variable independiente de tipo cualitativo ordinal.

**Control de Rendimientos:** variable independiente de tipo cualitativo ordinal.

**Control Visual:** variable independiente de tipo cualitativo ordinal.

**TABLA 8: DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES**

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL
<b>Gestión del tiempo</b>	Un componente del plan para la dirección del proyecto que establece los criterios y las actividades para desarrollar, monitorear y controlar el cronograma.
<b>Control de Avance</b>	Comparar el desempeño real con el desempeño planificado del avance, analizar las variaciones, evaluar las tendencias para realizar mejoras en los procesos.
<b>Control de Rendimientos</b>	Comparar el desempeño real con el desempeño planificado del rendimiento, analizar las variaciones, evaluar las tendencias para realizar mejoras en los procesos.
<b>Control Visual</b>	Comparar el desempeño real con el desempeño planificado mediante la visualización.

**Fuente:** Elaborado por el autor

El presente proyecto de investigación será:

#### 4.3 Caso de Investigación

Firenze: El edificio ubicado en Av. Brasil con Jirón Daniel Hernandez – Magdalena es un imponente y moderno edificio de quince pisos y 74 departamentos de 1 y 3 ambientes, desde 50 m<sup>2</sup> hasta 98 m<sup>2</sup>,



**GRÁFICO 10: EDIFICIO MULTIFAMILIAR FIRENZE**

**Fuente: URBANA PERÚ SAC**

#### 4.3 Técnicas de investigación

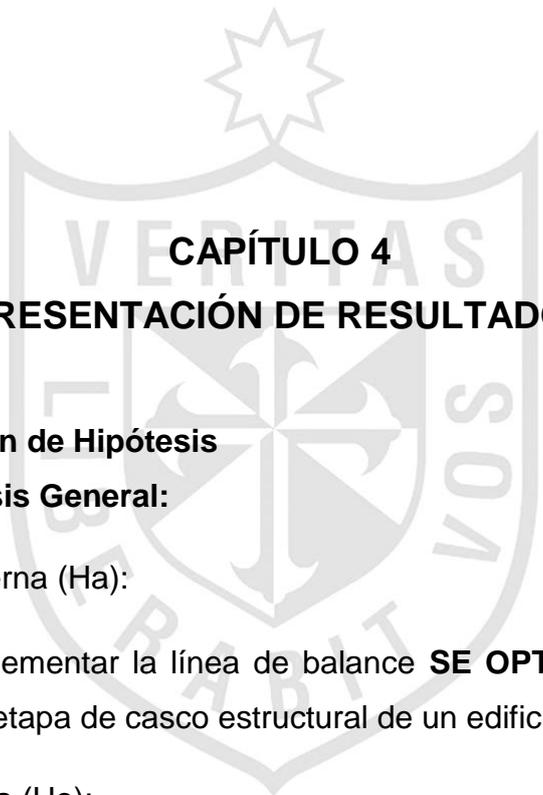
Para la presente investigación implementaremos la *Estadística Descriptiva* debido a que tendremos que recolectar, ordenar, analizar y representar un conjunto de datos; en nuestro caso los obtenidos de formatos propios; con el fin de describir apropiadamente las características de este, esta descripción se realizará mediante la construcción de tablas.

### **4.3 Instrumentos de obtención de datos**

Luego de especificar el tipo de estudio, el diseño de la investigación y el caso de estudio seleccionado para el desarrollo la presente tesis, se aplicará como instrumento, formatos de elaboración propia para poder obtener los datos requeridos.

Estos formatos se administrarán de forma directa, los cuales serán manejados por el Ingeniero encargado de la producción del proyecto Edificio Firenze.





## CAPÍTULO 4

### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Contratación de Hipótesis

##### 4.1.1 Hipótesis General:

Hipótesis Alternativa (Ha):

- Al implementar la línea de balance **SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

Hipótesis Nula (Ho):

- Al implementar la línea de balance **NO SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

#### 4.1.2 Hipótesis Específica

##### Hipótesis Específica 1:

Hipótesis Alterna 1 (Ha):

- Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control de avance, **SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

Hipótesis Nula 1 (Ho):

- Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control de avance, **NO SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

##### Hipótesis Específica 2:

Hipótesis Alterna 2 (Ha):

- Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control de rendimiento, **SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

Hipótesis Nula 2 (Ho):

- Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control de rendimiento, **NO SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

##### Hipótesis Específica 3:

Hipótesis Alterna 3 (Ha):

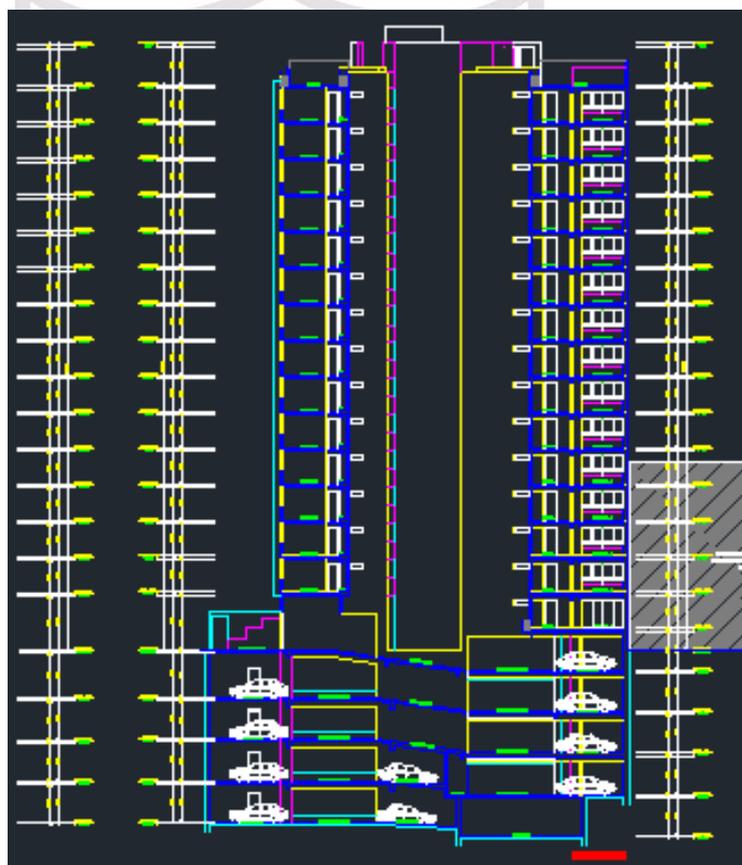
- Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control visual, **SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

Hipótesis Nula 3 (Ho):

- Al implementar la herramienta línea de balance con respecto al control visual, **NO SE OPTIMIZA** la gestión del tiempo en la etapa de casco estructural de un edificio multifamiliar

#### 4.1.3 Caso de Investigación

Ubicación: El edificio ubicado en Av. Brasil con Jirón Daniel Hernandez – Magdalena es un imponente y moderno edificio de quince pisos y 74 departamentos de 1 y 3 ambientes, desde 50 m<sup>2</sup> hasta 98 m<sup>2</sup>,

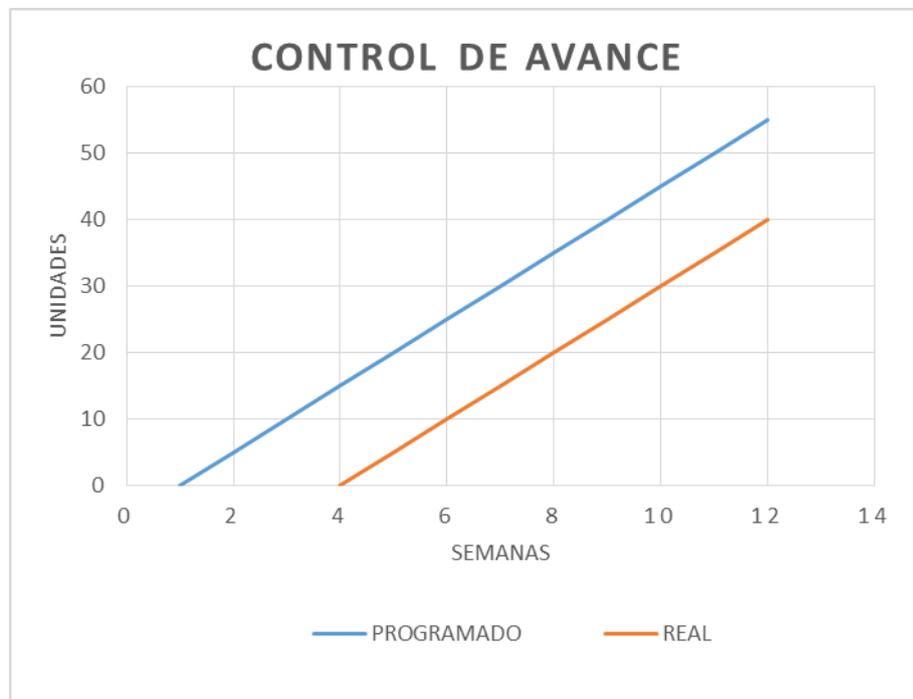


**GRÁFICO 11: EDIFICIO MULTIFAMILIAR FIRENZE CORTE**

**Fuente: URBANA PERÚ SAC**

## 4.2 Análisis e interpretación de la investigación

### Hipótesis Específica 1:

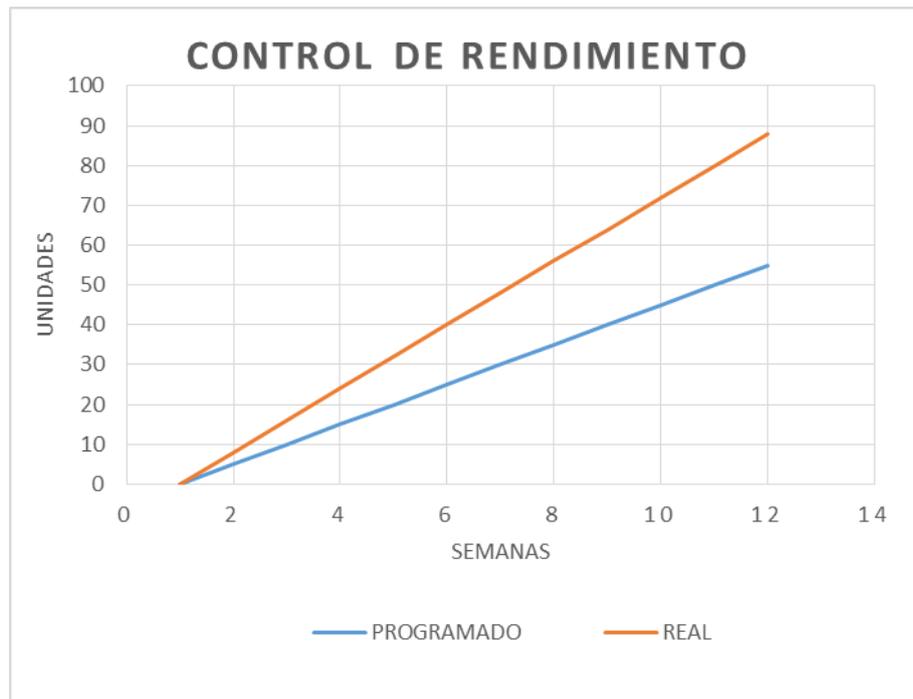


**GRÁFICO 12: CONTROL DE AVANCE**

**Fuente: Elaborado por el autor**

En el gráfico, se puede observar que mediante el método de Línea de Balance nos permite llevar un mejor control de avance debido a que poder localizar de una manera más simple el atraso o delante de alguna partida según el desfase de la línea, lo cuál nos permite llevar un mejor control del proyecto, por lo que **se acepta la hipótesis específica 1**.

## Hipótesis Específica 2:

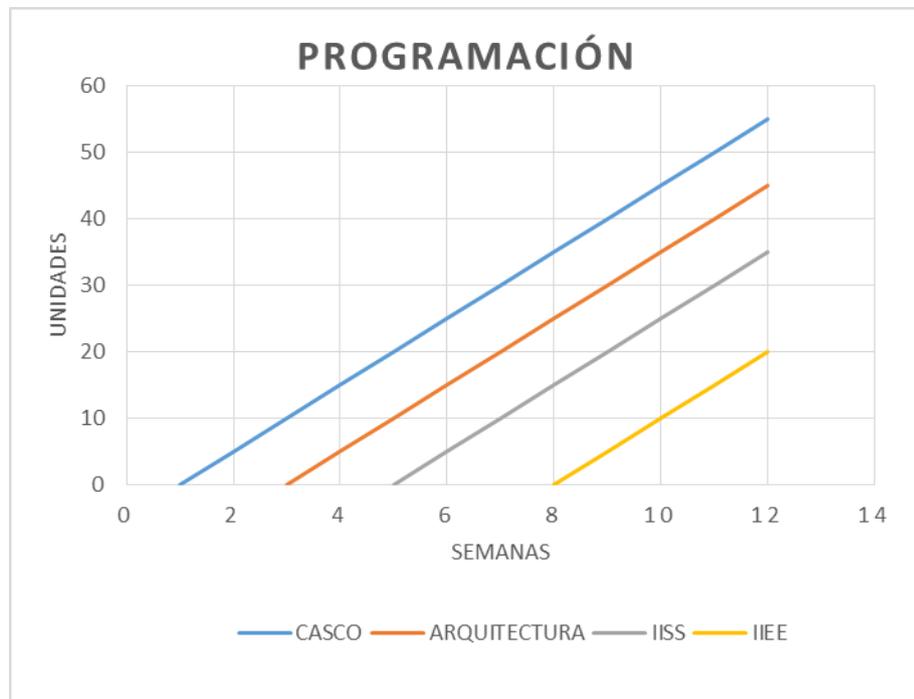


**GRÁFICO 13: CONTROL DE RENDIMIENTO**

**Fuente: Elaborado por el autor**

En el gráfico, se puede observar que mediante el método de Línea de Balance nos permite llevar un mejor control del rendimiento debido a que poder localizar de una manera más simple si se cumple con el rendimiento proyectado según la pendiente de la línea, lo cual nos permite un mejor control del proyecto, por lo que **se acepta la hipótesis específica 2.**

### Hipótesis Específica 3:



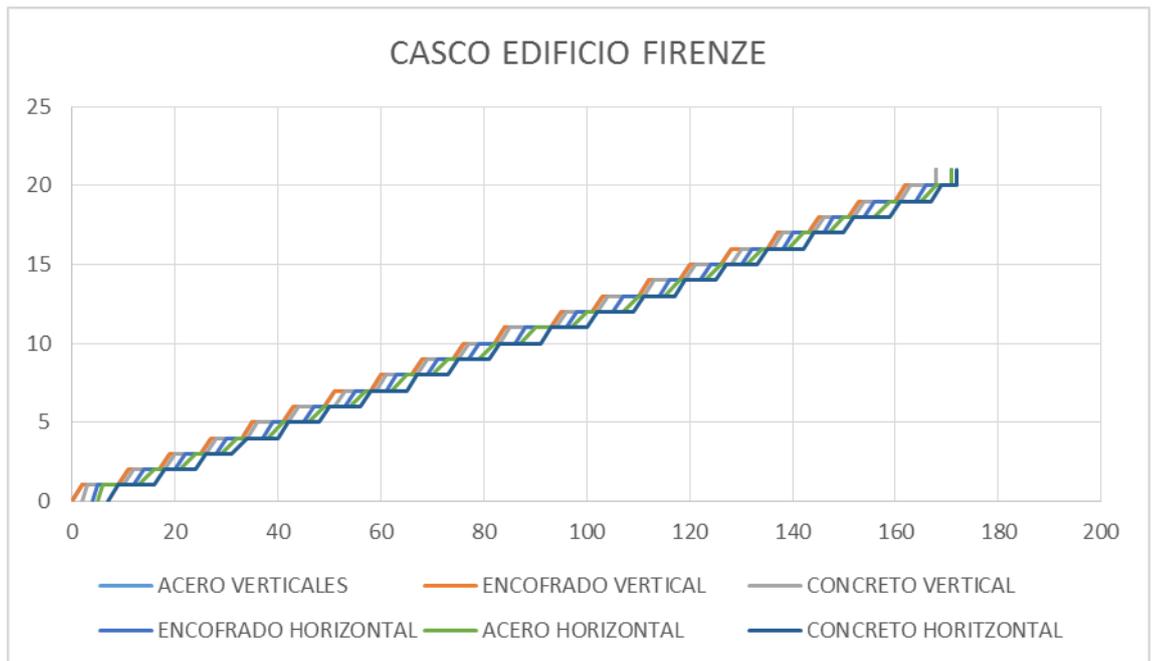
**GRÁFICO 14: PROGRAMACIÓN DE OBRA**

**Fuente: Elaborado por el autor**

En el gráfico, se puede observar que mediante el método de Línea de Balance nos permite llevar un mejor control visual, los cronogramas se presentan en una sola imagen, lo que permite una mejor visión del conjunto, esta ventaja se define como tener a la vista las relaciones entre las actividades y las conexiones entre ellas., por lo que **se acepta la hipótesis específica 3.**

### 4.3 Aplicación del caso

- Cronograma de Edificio Firenze, el cuál fue realizado en el programa Project utilizando el Diagrama Gantt, este cronograma inicio de 18 de Enero del 2014 al 09 de Julio del 2014, la etapa de casco estructural duró 24 semanas, 172 días.
- Definición de actividades a realizar en la Línea de Balance:
  - a) Acero de Verticales
  - b) Encofrado de Verticales
  - c) Concreto de Verticales
  - d) Encofrado de Horizontales
  - e) Acero de Horizontales
  - f) Concreto de Horizontales
- Con el cronograma real de obra de obra se hace su adaptación a la programación con la línea de balance.



**GRÁFICO 15: LÍNEA DE BALANCE FIRENZE - REAL**  
**Fuente: Elaborado por el autor**

- Cálculo de la velocidad de del Cronograma Real

$$v = \frac{24}{21} = 0.88$$

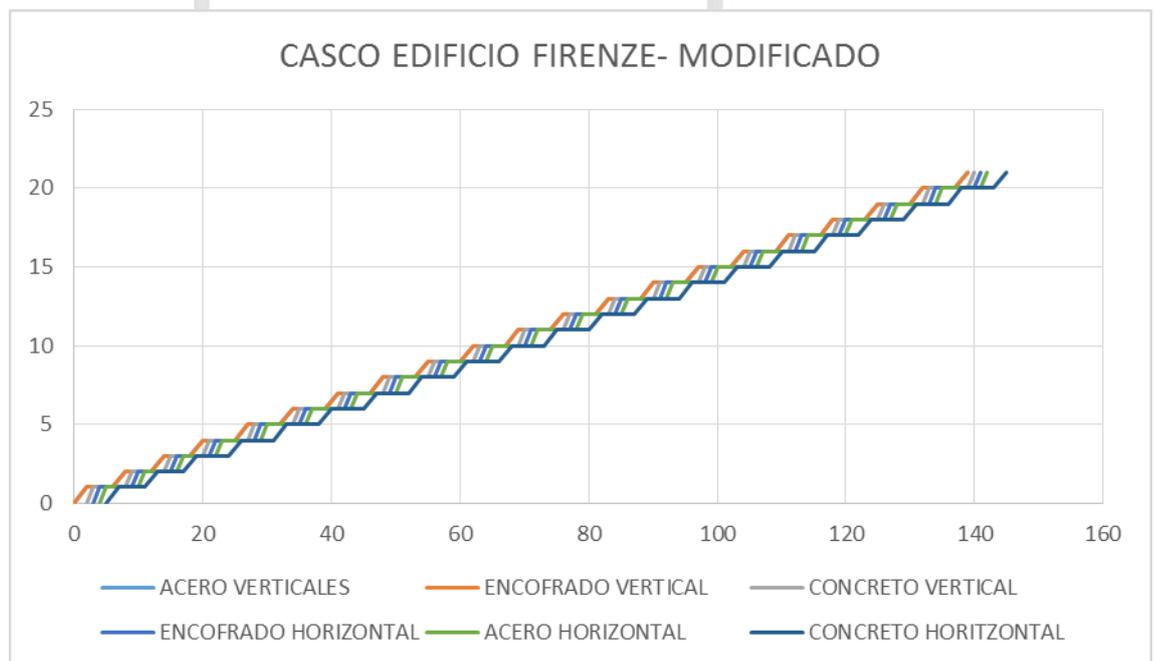
- Tenemos como objetivo realizar el vaciado 1 semana por piso es por ello que debemos aumentar la cantidad de operarios para poder cumplir  $V=1$ .

**TABLA 9: CUADRILLAS V=0.88 Y V=1**

	Cuadrilla V=0.88				Cuadrilla V=1			
ACERO VERTICALES	4	op	4	pe	5	op	5	pe
ENCOFRADO VERTICAL	7	op	7	pe	8	op	8	pe
CONCRETO VERTICAL	2	of	2	pe	2	of	2	pe
ENCOFRADO HORIZONTAL	4	op	4	pe	5	op	5	pe
ACERO HORIZONTAL	4	op	4	pe	5	op	5	pe
CONCRETO HORIZONTAL								

**Fuente: Elaborado por el autor**

- Realizaremos una nueva línea de balance con la V=1 para poder llevar a cabo 1 piso por semana, 145 días – 21 semanas.

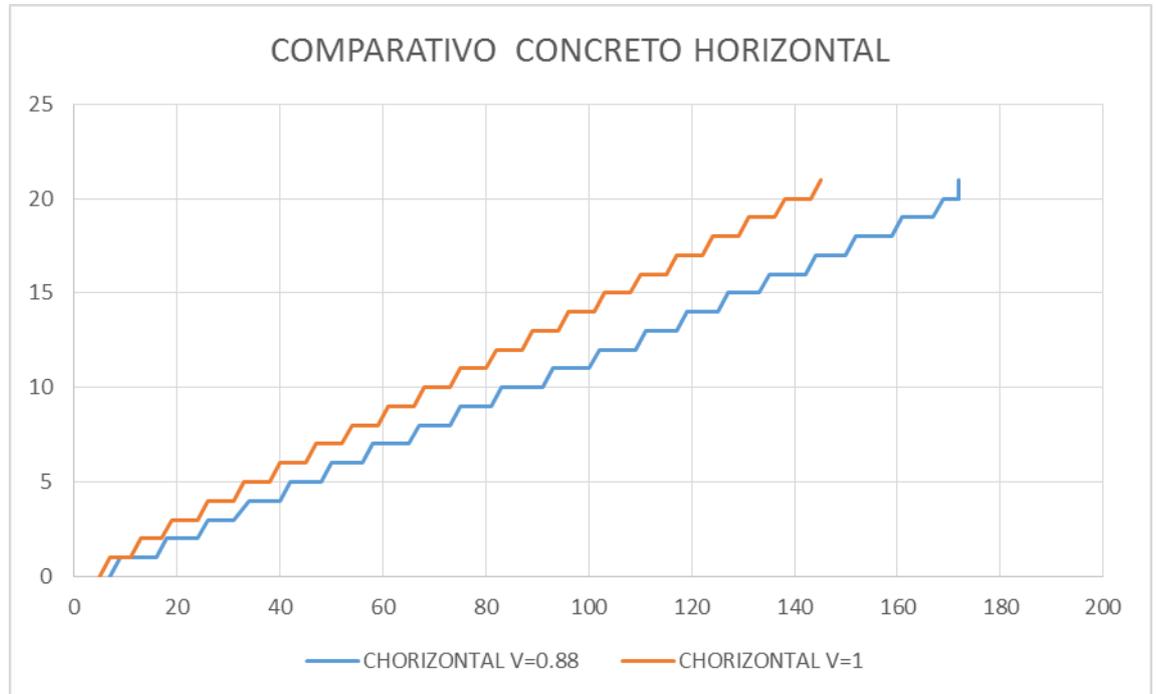


**GRÁFICO 16: LÍNEA DE BALANCE FIRENZE - PROGRAMADO**

**Fuente: Elaborado por el autor**

- Realizamos un comparativo de las dos líneas de balance tomando como entrega final el vaciado de los horizontales, podemos observar

que la línea con  $V=1$  tiene mayor pendiente (tiene mayor rendimiento) lo que hace culminar los trabajos con un total de 27 días.



### GRÁFICO 17: COMPARATIVO DE LÍNEA DE BALANCE

Fuente: Elaborado por el autor

- Realizamos un comparativo de costos HH utilizados para culminar el casco estructural del edificio Firenze

**TABLA 10: COSTO M/O CUADRILA V=0.88**

CASCO	V=0.88	24 SEMANAS	
<b>OPERARIO</b>			
C	Costo HH	HH	CostoTotal
20	16.81	1104	S/. 371,088.00
<b>OFICIAL</b>			
C	Costo HH	HH	CostoTotal
2	13.94	1104	S/. 30,786.72
<b>AYUDANTE</b>			
C	Costo HH	HH	CostoTotal
22	12.55	1104	S/. 304,851.36
			<b>S/. 706,726.08</b>

Fuente: Elaborado por el autor

**TABLA 11: COSTO M/O CUADRILLA V=1**

CASCO	V=1	21 SEMANAS	
<b>OPERARIO</b>			
C	Cost/sema	HH	CostoTotal
23	16.81	966	S/. 373,407.30
<b>OFICIAL</b>			
C	Cost/sema	HH	CostoTotal
2	13.94	966	S/. 26,938.38
<b>AYUDANTE</b>			
C	Cost/sema	HH	CostoTotal
25	12.55	966	S/. 303,119.25
			<b>S/. 703,464.93</b>

Fuente: Elaborado por el autor

## **CAPÍTULO 5**

### **DISCUSIÓN, CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES**

#### **DISCUSIÓN**

Con respecto al cronograma con  $V=0.88$  el nuevo cronograma propuesta con  $V=1$  cumplirá el vaciado de los techos con 1 semana por piso, el cual no era posible con una  $V=0.88$ .

Se reducirá el tiempo en 27 días de ejecución así mismo también un ahorro en el costo de mano de obra para la ejecución del casco estructural del Edificio Firenze.

El cronograma de obra fue ejecutado con una totalidad de 22 operarios con lo cual no cumplieron las metas de vaciar 1 semana por piso, para poder cumplir con dicha meta debieron tener una cuadrilla de 25 operarios.

## CONCLUSIONES

- En la adaptación de los Cronogramas Maestros tipo Diagramas de Gantt se observó que en los cronogramas con unidades en pisos/semanas detallado por pisos no había linealidad en las actividades, en lugar eran representadas por líneas tipo “serruchos”, es por ello que al realizar un programación de Línea de Balance de todas las partidas el casco se representa el inicio y final de los vaciados de techo para presentar linealidad.
- Existe poca calidad de programación y planificación inicial de los proyectos, lo cual trae consigo plazos mayores no proyectados y por ende mayores costos del proyecto los cuales en un inicio no fueron considerados. Si esto se mantiene constante el margen económico proyectado inicialmente en todo proyecto no será finalmente conseguido, sumando así pérdidas para la empresa.
- El método de Línea de Balance permite un control visual del avance del proyecto mediante la alteración de las pendientes de las líneas y/o de su ubicación, se percibe que actividades son las que se están generando complicaciones y por ende atrasos en la construcción.
- El método de Línea de Balance permite un mejor control del rendimiento de obra a comparación del cronograma Gantt, debido a que podemos analizarla de una manera más sencilla visualizando la pendiente de la línea.
- La fácil visualización del problema, conlleva a una toma de decisiones más rápida. Para solucionar problemas de retrasos en el proyecto se recomienda tomar aumentar la velocidad de trabajo de la actividad que se encuentra retrasada.
- La Línea de balance nos permite analizar el retraso o adelanto de una actividad con el desfase de la línea.

- En el Edificio Firenze se tuvo un retraso de 27 días y una pérdida en el costo de m/o de la etapa de casco.

## RECOMENDACIONES

- Capacitar al staff de ingenieros con la filosofía Lean para que apliquen La Línea de Balance como una nueva propuesta para el control y planificación de proyectos.
- Existe actualmente una resistencia al cambio de las profesiones expertas en la planificación de utilizar una nueva herramienta como es la Línea de Balance, sin embargo se considera que esta puede ayudar de gran manera la práctica de planificar y controlar los proyectos. Se espera que a un futuro cercano la LdB sea un practica más popular en las empresas grandes (como sucede en Finlandia), sobretodo en nuevos profesionales. Su uso se espera ir realizando de manera conjunta con las herramientas actuales para que el despegue de ellas no sean violentas y la adaptación sea más fluida
- Recomendamos no utilizar el cronograma real de una obra para realizar el planeamiento inicial de otra debido a que esto genera mucho margen de error por consiguiente un sobre costo en el proyecto, los cuales no son considerados en un inicio de obra.
- Realizar reuniones semanales en obra para poder analizar el estado de las líneas de balance y tomar medidas de acción en caso de retrasos o poco rendimiento.



## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Samohod, A (2015).** Apuntes de clases del Taller de Tesis
- Calmpa, S. (2014).** Aplicación de la Línea de Balance en el sistema Last Planner en proyectos de edificaciones (Tesis para Maestría). PUCP, Lima.
- Cardenas, V. (2013).** Planeamiento integral de la construcción de 142 viviendas unifamiliares en la ciudad de Puno aplicando lineamientos de la Guía del PMBOK (Tesis para Maestría) .PUCP, Lima.
- Guzmán, A. (2014).** Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos Tesis para Maestría) .PUCP, Lima.
- Mellan, M (2008).** Lineas de Balances o grafico de velocidades. Escuela de Ingeniería Construcción Universidad Central, Chile.
- Johnto, D (1981).** Linear scheduling method for highway construction. Journal of the Construction Division ASCE.
- Orihuela, P (2013).** Aplicación del Método de la Línea Balance a la Planificación Maestra
- Loría, J (2011).** Programación de Obras con la Técnica de la Línea de Balance
- Botero, L (2011).** Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones
- Koskela, L (1992).** Implementation of Line-of-Balance based scheduling and project control system in a large construction company

**Robert, H (1998).** Repetitive scheduling method. CENTER FOR  
CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT

**PMBOK (2012).** A guide to the Project management body of  
knowledge. Quinta edición. PMBOK®

