

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**Determinación de técnicas de compresión y aceleración óptimas  
para proyectos de construcción que tienen retrasos en sus  
cronogramas**

**AUTOR (ES):**

**Chum Saavedra Naomy Jumey**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de**

**INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:**

**Ing. Vera Armijos Jorge, MSc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**10 de marzo 2021**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Chum Saavedra Naomi Jumey**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

**TUTOR (A)**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Jorge Vera Armijos, MSc.**

**DIRECTORA DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Stefany Alcívar Bastidas, M.Sc.**

**Guayaquil, a los 10 días del mes de marzo del año 2021**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Chum Saavedra Naomi Jumey**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, **Determinación de técnicas de compresión y aceleración óptimas para proyectos de construcción que tienen retrasos en sus cronogramas**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 10 días del mes de marzo del año 2021**

**LA AUTORA**

f. \_\_\_\_\_  
**Chum Saavedra Naomi Jumey**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Chum Saavedra Naomi Jumey**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Determinación de técnicas de compresión y aceleración óptimas para proyectos de construcción que tienen retrasos en sus cronogramas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 10 días del mes de marzo del año 2021**

**LA AUTORA:**

f. \_\_\_\_\_  
**Chum Saavedra Naomi Jumey**

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** Naomi-Chum-FINAL.docx 2.docx (D97458092)  
**Submitted:** 3/7/2021 4:55:00 AM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 5 %

### Sources included in the report:

TSP César Artemio Parra Céspedes.pdf (D77619586)

CONSTANTINE\_CARLOS\_GARCÍA\_LUIS\_TRABAJO\_TITULACIÓN\_GENERALES\_DE\_INGENIERIA\_ABRIL\_20 20.docx (D64866085)

ACTIVIDAD-EDAP-FINAL.docx (D40548801)

fa5145ce2a3656123bd36d85f507f12e303c9f1a.docx (D75836636)

3c2647dba6989b129013f5909d348c7fd5923506.docx (D77911381)

<http://pmbok1.blogspot.com/p/prueba.html>

<https://sites.google.com/site/portafoliogestiondeproyectos/4-1-interacciones-comunes-entre-los-procesos-de-la-direccion-de-proyectos>

<https://es.slideshare.net/InmaculateDarkNympheth/cap3-procesos-de-la-direccin-de-proyectos-asdf>

<http://repositorio.esumer.edu.co/bitstream/esumer/1557/1/DISE%C3%91O%20DE%20UNA%20METODOLOG%C3%8DA%20PARA%20EL%20LEVANTAMIENTO%20DE%20LAS%20INTERSECCIONES%20SEMAFORIZADAS%20DE%20LA%20CIUDAD%20DE%20MEDELL%C3%8DN.pdf>

## **AGRADECIMIENTO**

Primero quisiera agradecerle a Dios por brindarme su guía y sabiduría en este proceso de aprendizaje.

A mis amados padres Mao Chum y Sandra Saavedra por todo ese amor y confianza infinita puesta en mí, por ser fundamentales en mi vida.

A mis hermanas Jouselyn y Maoly por siempre acompañarme en mis mejores y peores momentos.

A mis abuelos pero en especial a mi ángel, mi abuela Olga Ponce quien siempre estuvo pendiente de mí día a día brindándome su incondicional apoyo.

A toda mi familia y amigos que de una u otra forma siempre estuvieron presente durante esta etapa tan importante de mi vida.

A mi tutor el ingeniero Jorge Vera Armijos por su valiosa colaboración y entrega en este proyecto de investigación.

A cada uno de los docentes de la facultad de ingeniería civil les expreso mis sinceros agradecimientos por brindarme sus experiencias y conocimientos en todo el proceso de formación académica de esta hermosa carrera.

## **DEDICATORIA**

Quisiera dedicarle este trabajo de investigación A Dios ya que sin él nada de esto hubiera sido posible y a mis padres Sandra Saavedra y Mao Chum por su amor, entrega y apoyo incondicional.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Carlos Chon Díaz, M.Sc.**

DECANO

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Nancy Varela Terreros, M.Sc.**

DOCENTE DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Roberto Murillo Bustamante, M.B.A.**

OPONENTE

# ÍNDICE

## INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo general .....	2
1.3.2. Objetivos específicos .....	2
1.4. Alcance .....	3
1.5. Metodología.....	3
1.6. Aporte de la investigación.....	3
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Proyectos de obras civiles .....	4
2.2. Project Management Institute (PMI).....	5
2.3. Project Management Body of Knowledge (PMBOK) .....	5
2.4. Dirección de proyectos .....	5
2.4.1. Proceso de inicio del proyecto .....	7
2.4.2. Planificación.....	8
2.4.3. Ejecución.....	9
2.4.4. Monitoreo y control.....	10
2.4.5. Proceso de cierre .....	11
2.5. Gestión del tiempo del proyecto.....	12
2.5.1. Planificar cronograma .....	12

2.5.2.	Delimitar actividades .....	13
2.5.3.	Secuenciar actividades .....	13
2.5.4.	Estimar recursos de actividades .....	14
2.5.5.	Estimar tiempo de actividades .....	15
2.5.6.	Desarrollo del Cronograma .....	15
2.5.7.	Controlar cronograma .....	24
2.6.	Gerencia de los costos del proyecto .....	24
2.6.1.	Planificación en base a la gestión de costos.....	25
2.6.2.	Realizar la estimación de los costos.....	25
2.6.3.	Determinar el presupuesto del proyecto.....	26
2.6.4.	Controlar los costos.....	27
2.7.	Técnicas utilizadas en el retraso de cronogramas de obras .....	28
2.7.1.	Incrementar horas de trabajo.....	28
2.7.2.	Reasignar recursos en la ruta crítica.....	28
2.7.3.	Verificar dependencias del cronograma.....	29
2.7.4.	Verificar actividades restringidas por el tiempo .....	29
2.7.5.	Intensificación (Crashing).....	30
2.7.6.	Ejecución rápida (Fast Tracking).....	30
2.7.7.	Mejora de procesos .....	31
2.7.8.	Recuperación de compromisos .....	31
2.7.9.	Modificar Alcance.....	32
2.7.10.	Reprogramación de la fecha límite.....	32
	METODOLOGÍA .....	33

3.1. Análisis de información ya existente sobre técnicas para recuperar cronogramas de obras retrasados. ....	33
3.2. Conclusión de entrevistas realizadas a expertos sobre técnicas para recuperar proyectos retrasados. ....	33
3.3. Relación tiempo-costos en las actividades de un proyecto. ....	34
3.4. Pasos para ejecutar crashing (intensificación).....	36
3.5. Pasos para ejecutar fast tracking (Ejecución rápida).....	41
DESARROLLO .....	45
4.1. Aplicación de crashing y fast tracking para reducir el cronograma de proyecto.....	45

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i>	<i>Tabla crashing de proyecto de cimentación</i>	46
----------------	--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos</i>	6
<i>Figura 2 Los Grupos de Procesos Interactúan en una Fase o Proyecto</i>	7
<i>Figura 3 límites del proyecto</i>	8
<i>Figura 4 Procesos de planificación</i>	9
<i>Figura 5 Grupo de procesos de ejecución</i>	10
<i>Figura 6 Procesos de monitoreo y control</i>	11
<i>Figura 7 Procesos de cierre</i>	12
<i>Figura 8 Planificar cronograma</i>	13
<i>Figura 9 Delimitación de actividades</i>	13
<i>Figura 10 Secuenciar actividades</i>	14
<i>Figura 11 Estimar recursos de actividades</i>	14
<i>Figura 12 Estimar tiempo de actividades</i>	15
<i>Figura 13 Presentación general de la programación</i>	16
<i>Figura 14 Ejemplo de ruta crítica</i>	17
<i>Figura 15 Ejemplo de cadena crítica</i>	18
<i>Figura 16 Diagrama de Gantt</i>	18
<i>Figura 17 Hitos dentro de un proyecto</i>	19
<i>Figura 18 Diagrama de red del cronograma de un proyecto</i>	20
<i>Figura 19 Resultado de simulación de los riesgos relativos a los costos</i>	21
<i>Figura 20 Control de riesgos</i>	23
<i>Figura 21 Controlar cronograma</i>	24
<i>Figura 22 Planificar la gestión de costos</i>	25
<i>Figura 23 Estimaciones de costos de un proyecto</i>	26
<i>Figura 24 Determinar el presupuesto</i>	26
<i>Figura 25 Componentes del presupuesto del proyecto</i>	27
<i>Figura 26 Controlar costos</i>	27
<i>Figura 27 Tipos de relaciones del PDM</i>	29
<i>Figura 28 Técnicas de crashing</i>	30
<i>Figura 29 Técnica fast tracking</i>	31
<i>Figura 30 Costo vs Tiempo</i>	34
<i>Figura 31 Costos directos e indirectos de un proyecto acelerado</i>	35
<i>Figura 32 Holguras para determinar ruta crítica</i>	37

<b>Figura 33</b> Formato de tabla crashing	38
<b>Figura 34</b> Ejemplo crashing - Cronograma original	40
<b>Figura 35</b> Ejemplo crashing - Ruta crítica	40
<b>Figura 36</b> Ejemplo crashing - Tabla crashing	41
<b>Figura 37</b> Ejemplo crashing - Nueva ruta crítica	41
<b>Figura 38</b> Ejemplo fast tracking - Cronograma original	43
<b>Figura 39</b> Ejemplo fast tracking - Ruta crítica original	43
<b>Figura 40</b> Ejemplo fast tracking – Nueva ruta crítica	44
<b>Figura 41</b> Datos de cimentación para un edificio de cuatro niveles	45
<b>Figura 42</b> Cronograma original de proyecto de cimentación	46
<b>Figura 43</b> Costo normal o estándar de proyecto de cimentación	46
<b>Figura 44</b> Ruta crítica proyecto de cimentación	46
<b>Figura 45</b> Análisis de costo- Desbroce y limpieza	46
<b>Figura 46</b> Análisis de costo - Desbroce y limpieza (actividad acelerada)	46
<b>Figura 47</b> Análisis de costo - Cerramiento provisional	46
<b>Figura 48</b> Análisis de costo - Cerramiento provisional (actividad acelerada).	46
<b>Figura 49</b> Análisis de costo - Caseta de guardián y bodega	46
<b>Figura 50</b> Análisis de precio - Caseta de guardián y bodega (Actividad acelerada)	46
<hr/>	
<b>Figura 51</b> Proyecto de cimentación - nueva ruta crítica	46

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i> Tiempo esperado o tiempo normal _____	34
<i>Ecuación 2</i> Costo de reducción por unidad de tiempo _____	38

## **RESUMEN**

El proyecto de obra civil es un documento que consiste en cumplir una serie de requisitos y etapas que deben de ser llevadas a cabo para poder culminar exitosamente dicho proyecto y proceder con la construcción del mismo, un desafío en la ejecución de las obras civiles es poder cumplir con los tiempos establecidos para el proyecto, y de esta forma entregarla en el plazo determinado por el cliente, Existen varias problemáticas que se pueden presentar al realizar y al ejecutar un proyecto de construcción, este tema de investigación tendrá como finalidad enunciar las diferentes técnicas que se utilizan en la gestión de los proyectos de obras civiles cuando existe algún tipo de retraso en sus cronogramas, es decir se propondrán técnicas las cuales se utilizarán teniendo en cuenta la magnitud del retraso mediante la aplicación de las mismas en un cronograma y de esta forma se determinará cuáles son las más eficientes.

***Palabras Claves: (proyecto de obra civil, ejecución de la obra, cronograma, tiempos establecidos, técnicas, retraso)***

## **ABSTRACT**

The civil works project is a document that consists of complying with a series of requirements and stages that must be carried out in order to successfully complete said project and proceed with its construction, a challenge in the execution of civil works is to be able to comply with the times established for the project, and in this way deliver it within the period determined by the client, There are several problems that can arise when carrying out and executing a construction project, this research topic will aim to enunciate the different techniques that are used in the management of civil works projects when there is some kind of delay in their schedules, that is, techniques will be proposed which will be used taking into account the magnitude of the delay by applying them in a schedule and this form will determine which are the most efficient.

***Keywords: (civil works project, execution of the work, schedule, established times, techniques, delay)***

# INTRODUCCIÓN

## 1.1. Antecedentes

Una de las variables que más afectan el correcto desarrollo de los proyectos de construcción es sin lugar a duda el tiempo, los cronogramas difícilmente cumplen con lo planificado, por lo que generalmente los proyectos tienen retrasos. En estos casos, es importante conocer las técnicas de compresión de proyectos y de aceleración de actividades que mejor se ajusten a los requerimientos de proyectos de construcción.

## 1.2. Planteamiento del problema

Un proyecto para una construcción implica varios factores entre ellos la organización, la responsabilidad y el buen control del trabajo realizado, uno de los factores negativos que se presentan a menudo en los proyectos de construcciones civiles son los retrasos de los cronogramas debido a que un retraso no controlado a tiempo podría evitar que la obra se termine en el plazo establecido.

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

- Determinar las técnicas de compresión y de aceleración de actividades para reducir los tiempos de ejecución de proyectos de construcción

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la aplicación de técnicas de compresión de proyectos y de aceleración de actividades en cronogramas de construcción.
- Priorizar las mejores técnicas de compresión de proyectos y de aceleración de actividades, de acuerdo con los mejores resultados en proyectos de construcción.

#### **1.4. Alcance**

Presentar las mejores técnicas de compresión de proyectos y de aceleración de actividades que se apliquen de forma óptima en proyectos de construcción.

#### **1.5. Metodología**

Para la investigación de mercado se realizará una revisión de la literatura existente, así como entrevistas a expertos en proyectos de construcción, y focus group con una muestra de empresarios constructores

#### **1.6. Aporte de la investigación**

Como se indicó en los antecedentes, es muy importante que los profesionales de la construcción enfoquen sus esfuerzos en la aplicación de las mejores técnicas de compresión de proyectos y de aceleración de actividades para que puedan recuperar los atrasos y se ajusten a los cronogramas planificados en los proyectos de construcción.

## MARCO TEÓRICO

### 2.1. Proyectos de obras civiles

Un proyecto es un documento en el cual se detalla un plan mediante un grupo de recursos para llevar a cabo un producto, servicio o resultado único, un proyecto es temporal, dicho de otro modo posee un inicio y un final establecido, el mismo puede finalizar por varias causas, entre ellas por haber cumplido con el propósito establecido, porque el cliente decide ponerle fin al proyecto, porque suele desaparecer el propósito con el cual se iba a realizar o simplemente porque no se logrará cumplir con los objetivos del mismo (PMI, 2013).

La Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública habla sobre las consecuencias de no entregar un proyecto en el tiempo establecido.

Artículo 71.- Cláusulas Obligatorias. - En los contratos sometidos a esta Ley se estipulará obligatoriamente cláusulas de multas, así como una relacionada con el plazo en que la entidad deberá proceder al pago del anticipo, en caso de haberlo; el que no podrá exceder del término de treinta (30) días. (SERCOP, 2018, pág. 36)

Las multas se impondrán por retardo en la ejecución de las obligaciones contractuales conforme al cronograma valorado, así como por incumplimientos de las demás obligaciones contractuales, las que se determinarán por cada día de retardo; las multas se calcularán sobre el porcentaje de las obligaciones que se encuentran pendientes de ejecutarse conforme lo establecido en el contrato. (SERCOP, 2018, pág. 36)

## **2.2. Project Management Institute (PMI)**

Se trata de una organización fundada en el año 1969, la cual se ha encargado de realizar estudios sobre proyectos que han sido aceptados y reconocidos a nivel mundial y analizar las dificultades que surgen en dichos proyectos, de esta forma establece estándares con la finalidad de permitirle a los profesionales capacitarse y tener excelentes resultados en sus proyectos, una de las guías y la más famosa creada por el PMI es la de Project Management Body of Knowledge (PMBOK).

## **2.3. Project Management Body of Knowledge (PMBOK)**

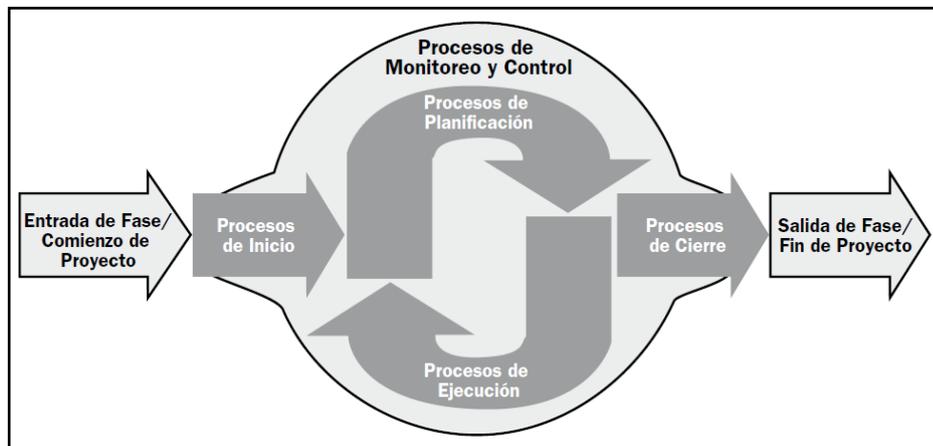
El PMI Instituto de manejo de proyectos creó una guía llamada PMBOK Project Management Body of Knowledge, esta se encarga de brindarle a los profesionales en diferentes especialidades referencias de cómo llevar a cabo un proyecto en base a buenas prácticas ya ejecutadas, esta guía proporciona información, destrezas, herramientas y métodos que incrementan el posible éxito de un proyecto, claramente esto no quiere decir que deba empleársela estrictamente en todo tipo de proyectos de la misma forma ya que el rumbo que este lleve dependerá únicamente de su equipo de gerencia, luego de ser exhaustivamente analizado se determinará lo más oportuno para el proyecto en cuestión (PMI, 2013).

## **2.4. Dirección de proyectos**

En la dirección de proyectos las actividades del mismo son regidas mediante técnicas y herramientas, con la finalidad de cumplir exitosamente con el objetivo del proyecto por medio de cinco grupos de procesos como lo son: inicio, planificación, ejecución, monitoreo y cierre, todos los factores que generan un proyecto están estrechamente relacionados entre sí, es decir, si se modifica uno de sus factores

afectará a los demás, por esta y más razones el gerente debe realizar un buen uso de los recursos y mantener una buena comunicación con los participantes del proyecto para así garantizar el éxito del mismo (PMI, 2013).

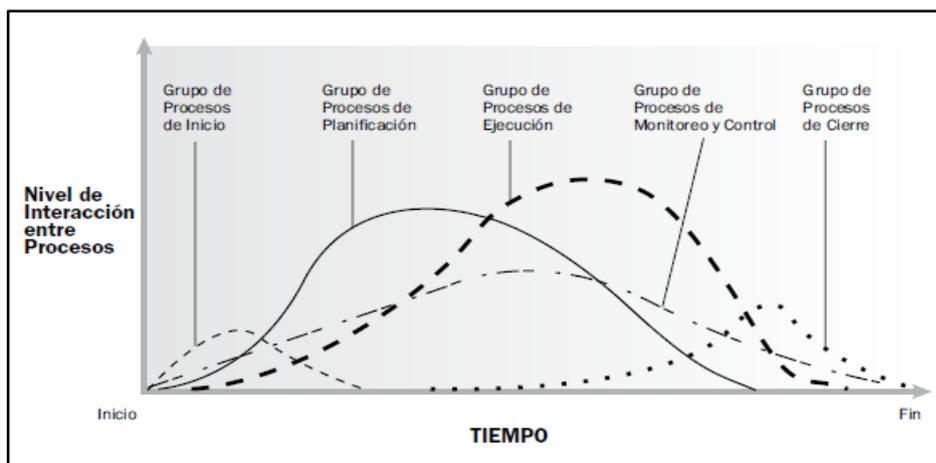
En otras palabras, el gerente debe recolectar información de la guía del PMBOK, las políticas de la organización que se encarga de materializar el proyecto y las vivencias que se han experimentado en otros proyectos similares y tomando en cuenta las carencias que tenga el proyecto a ejecutar se establecerán procesos específicos para una óptima dirección.



**Figura 1** Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 48)

El grupo de procesos de planificación suministra al grupo de procesos de ejecución el plan para la dirección del proyecto y los documentos del proyecto y, conforme el proyecto avanza, a menudo genera actualizaciones al plan para la dirección del proyecto y a los documentos del proyecto. (PMI, 2013, pág. 51)



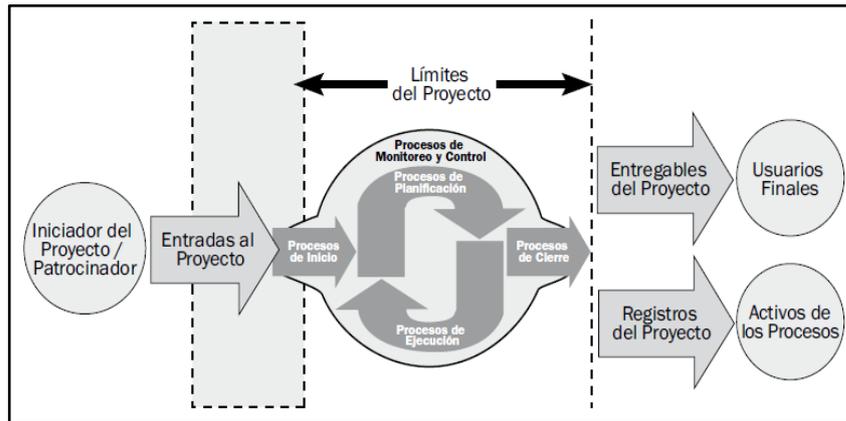
**Figura 2** Los Grupos de Procesos Interactúan en una Fase o Proyecto

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 51)

#### 2.4.1. Proceso de inicio del proyecto

Los encargados de dirigir un proyecto deben tener en claro que el éxito del mismo va a sujetarse en gran medida un buen inicio, en el cual se deben reconocer los requerimientos necesarios para posteriormente tener una correcta ejecución.

EL PMI (2013) indica que dentro del proceso inicial de un proyecto se genera un acta de constitución del proyecto en la que se establecen ciertos aspectos como: el alcance inicial para cumplir con los objetivos estratégicos, la inversión económica con la cual dispondrá el proyecto y la selección de un profesional que tenga conocimiento tanto en la especialidad del proyecto como en gestión de proyectos, para que de esta forma pueda asumir el cargo de director.



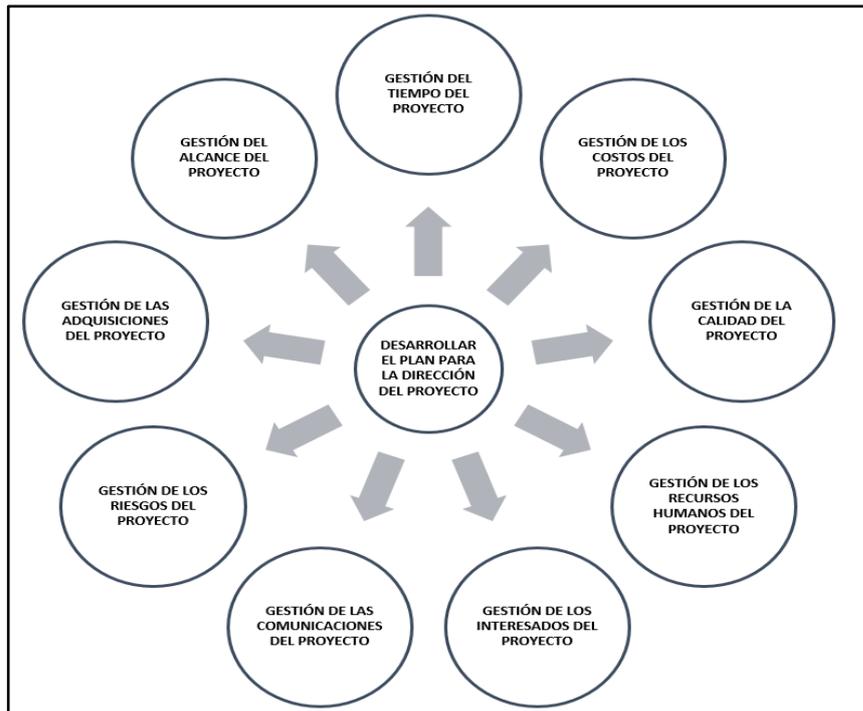
**Figura 3** límites del proyecto

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 54)

### 2.4.2. Planificación

Luego de implantar los procesos de inicio se debe realizar una planificación la cual es imprescindible en cualquier tipo de proyecto asegurando en un gran porcentaje el éxito del mismo, al no efectuar una buena planificación previa a la ejecución, este estará expuesto a sufrir varios reajustes con la finalidad de ser entregado al cliente en el tiempo dispuesto, todo esto puede modificar el presupuesto, la calidad o el alcance del proyecto lo cual resulta perjudicial.

“la planeación consiste en determinar que se debe hacer (alcance, entregables), como se hará (actividades, secuencia), quien lo va a hacer (recursos, responsabilidad), cuanto tiempo tomará hacerlo (duración, programa), cuánto dinero costará (presupuesto), y cuáles son los riesgos” (Gido & Clements, 2012).



**Figura 4** Procesos de planificación

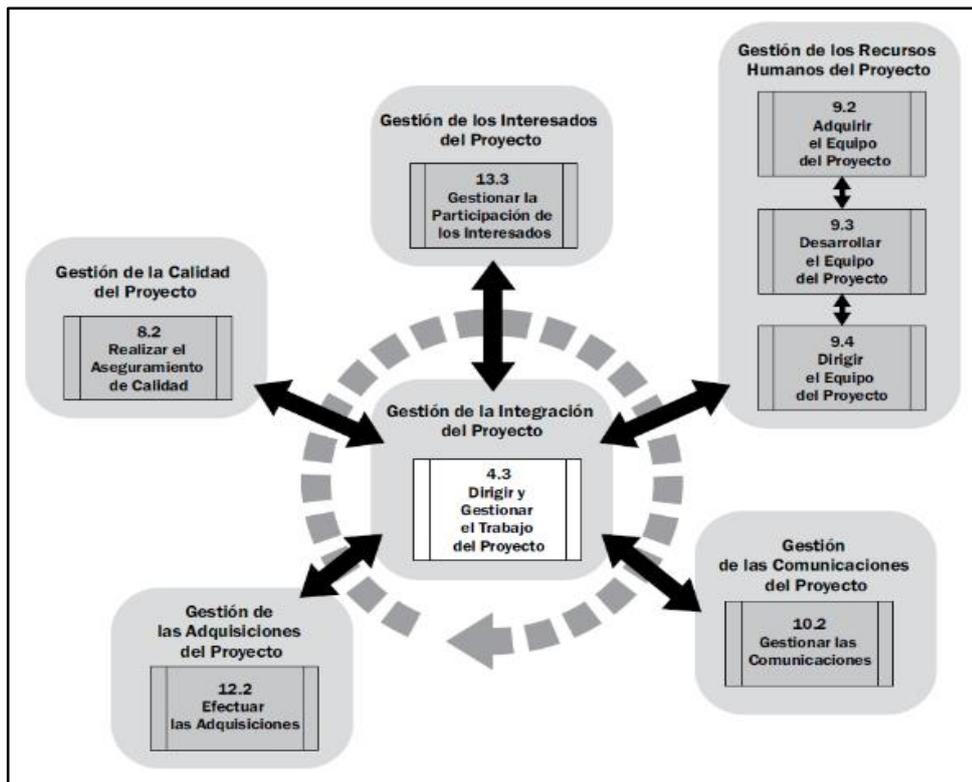
**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 427)

### 2.4.3. Ejecución

La ejecución como su término lo indica es el ciclo en el que se pone en práctica lo planificado, su tarea fundamental consiste en guiar y gestionar todas las actividades que han sido establecidas en el plan del proyecto, durante esta fase se contrata al personal, se adquieren recursos de materiales y herramientas, en otras palabras, en esta fase se cumple con el alcance anteriormente dispuesto.

Durante la ejecución del proyecto, los resultados pueden requerir que se actualice la planificación y que se vuelva a establecer la línea base. Esto puede implicar cambios en la duración prevista de las actividades y cambios en la productividad y la disponibilidad de los recursos, así como riesgos no previstos.

(PMI, 2013, pág. 444)



**Figura 5** Grupo de procesos de ejecución

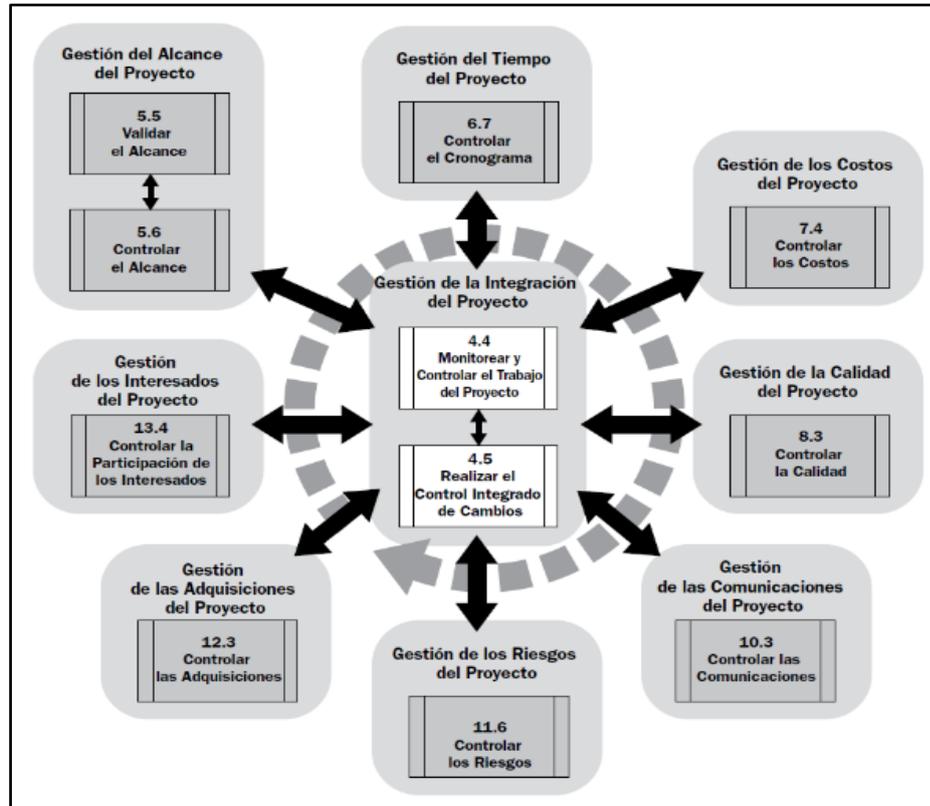
**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 445)

#### 2.4.4. Monitoreo y control

En la fase de monitoreo y control de un proyecto de cualquier tipo de especialidad se indaga y se analiza el desempeño que se ha adquirido luego de la realización del proyecto, y de este modo reconocer si se requiere realizar modificaciones en el mismo, cabe resaltar que usualmente el director de proyecto establece que en la fase de la ejecución se realice un monitoreo y control previo, para impedir sorpresas en la nueva fase del proyecto.

El PMI (2013) ejecuta el monitoreo y control de un proyecto mediante las siguientes etapas, gestión del tiempo del proyecto, gestión de los costos del proyecto, gestión de la calidad del proyecto, gestión de la comunicación del proyecto, gestión de

los riesgos del proyecto gestión de las adquisiciones del proyecto, gestión de los interesados del proyecto y gestión del alcance del proyecto.



**Figura 6** Procesos de monitoreo y control

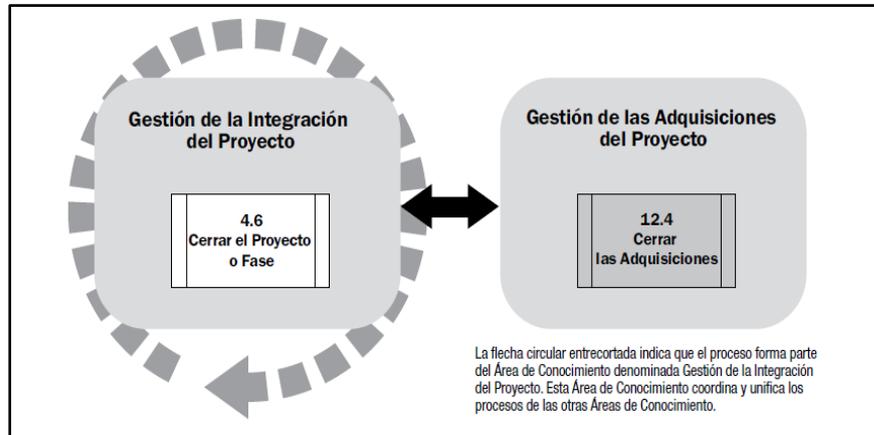
**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 450)

#### 2.4.5. Proceso de cierre

El grupo de procesos de cierre se ejecutan cuando se haya finalizado totalmente el proyecto o a su vez cuando se haya cumplido con el cierre de una de las fases del proyecto.

La fase final del ciclo de vida del proyecto es el cierre del mismo. El proceso de cierre comprende diversas acciones, que incluyen el cobro de las facturas y los pagos finales, la evaluación y el reconocimiento del personal, la realización de una evaluación a posteriori del proyecto, la documentación de las lecciones

aprendidas y el archivo de los documentos del proyecto. (Gido & Clements, 2012, pág. 13)



**Figura 7** Procesos de cierre

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 424)

## 2.5. Gestión del tiempo del proyecto

En la gestión del tiempo se realizará un estudio exhaustivo con el propósito de establecer un periodo de tiempo imprescindible para el buen desarrollo y el desempeño exitoso del proyecto, este análisis incorpora varios procesos tales como:

### 2.5.1. Planificar cronograma

Para planificar el cronograma del proyecto se debe tomar en cuenta las políticas de la organización y los procedimientos que se necesitan realizar el PMI subdividen el proceso en entrada, herramientas y técnicas y salidas, la planificación es una actividad muy importante porque de esta forma se podrá evitar que el cronograma se vea retrasado (PMI, 2013).



**Figura 8** Planificar cronograma

Fuente: (PMI, 2013, pág. 145)

### 2.5.2. Delimitar actividades

Definir las Actividades es el proceso de identificar y documentar las acciones específicas que se deben realizar para generar los entregables del proyecto. El beneficio clave de este proceso es el desglose de los paquetes de trabajo en actividades que proporcionan una base para la estimación, programación, ejecución, monitoreo y control del trabajo del proyecto. (PMI, 2013, pág. 149)

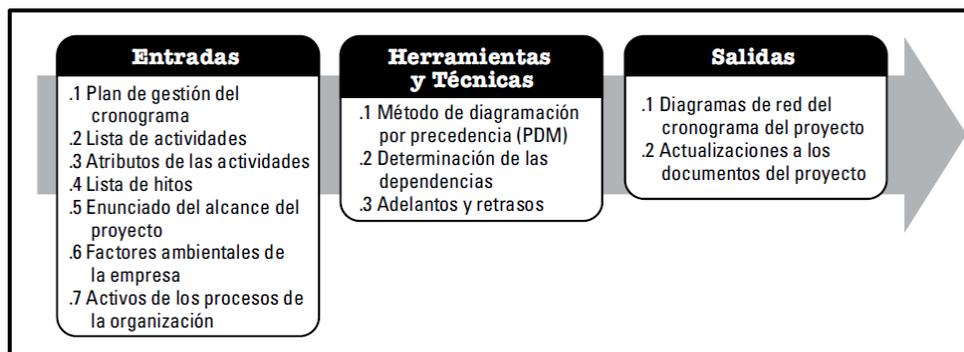


**Figura 9** Delimitación de actividades

Fuente: (PMI, 2013, pág. 149)

### 2.5.3. Secuenciar actividades

Para el PMI (2013) la secuencia de actividades está determinada en la planificación, consiste en registrar las dependencias lógicas entre las actividades del proyecto según la alineación organizada de las tareas.

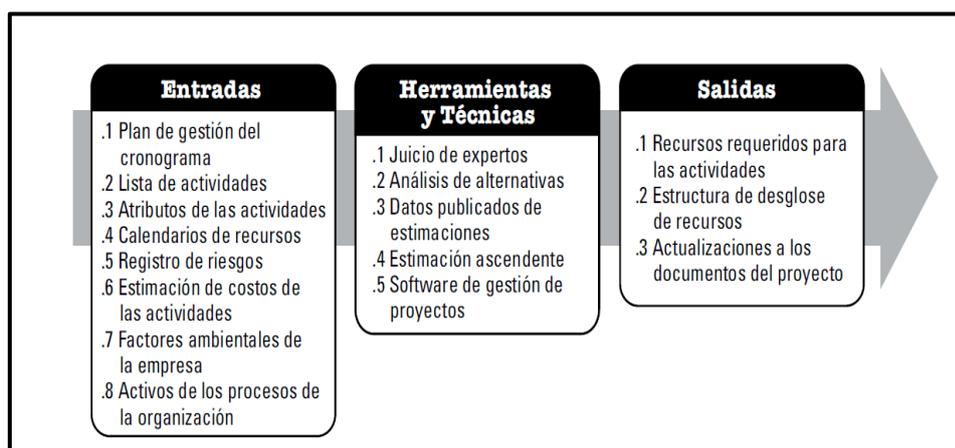


**Figura 10** Secuenciar actividades

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 153)

#### 2.5.4. Estimar recursos de actividades

Estimar los Recursos de las Actividades es el proceso de estimar tipo y cantidades de materiales, personas, equipos o suministros requeridos para llevar a cabo cada una de las actividades. El beneficio clave de este proceso es que identifica el tipo, cantidad y características de los recursos necesarios para completar la actividad, lo que permite estimar el costo y la duración de manera más precisa. (PMI, 2013, pág. 160)

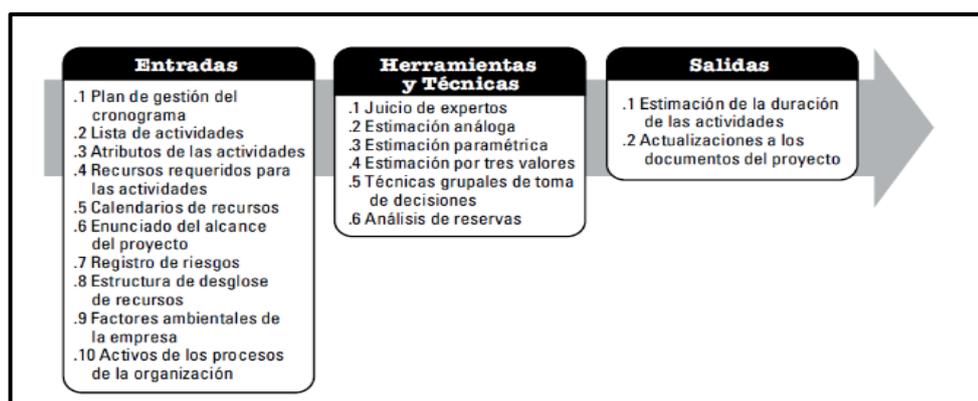


**Figura 11** Estimar recursos de actividades

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 161)

### 2.5.5. Estimar tiempo de actividades

Se refiere a la duración cronológica con la que se necesita estimar a cada una de las actividades del proyecto, todas las actividades tendrán un tiempo señalado, una técnica muy utilizada es la de PERT el cual establece un tiempo estándar en relación al tiempo realista, el optimista y el pesimista.

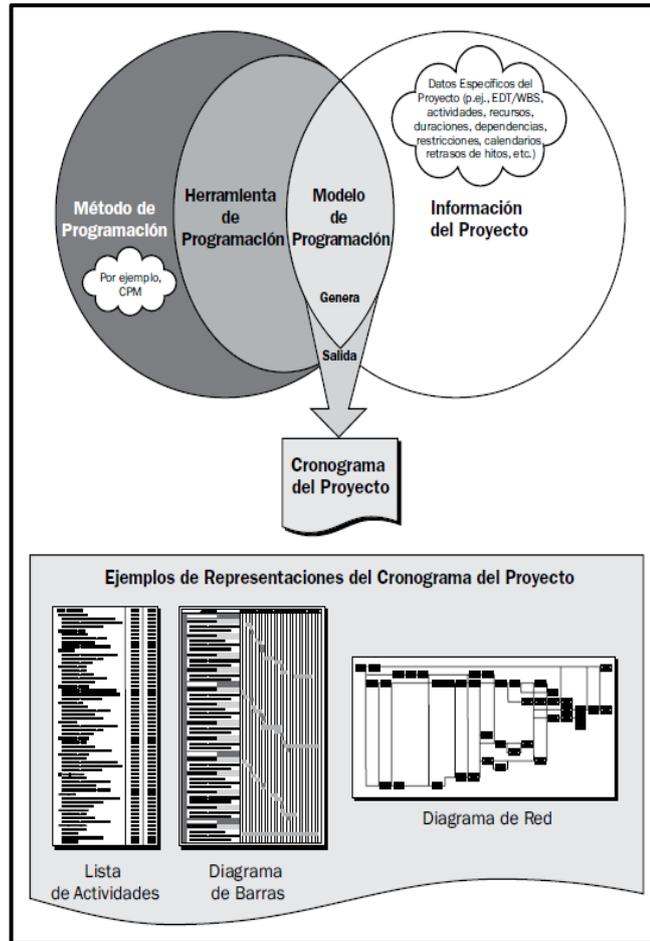


**Figura 12** Estimar tiempo de actividades

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 166)

### 2.5.6. Desarrollo del Cronograma

El desarrollo del cronograma consta de diversas etapas las cuales se explican detalladamente en este proyecto de investigación, entre ellas están el método de programación que se utilizará para llevar a cabo el cronograma, las herramientas de programación, el modelo de programación, toda la información referente al proyecto es decir los datos y especificaciones del mismo, en el cronograma se establecen todos los recursos que se necesitan para explicar las actividades del proyecto y se define el tiempo de duración de cada una de ellas, estos recursos ya identificados son los que se necesitan para desarrollar el modelo de programación del proyecto (PMI, 2013).



**Figura 13** Presentación general de la

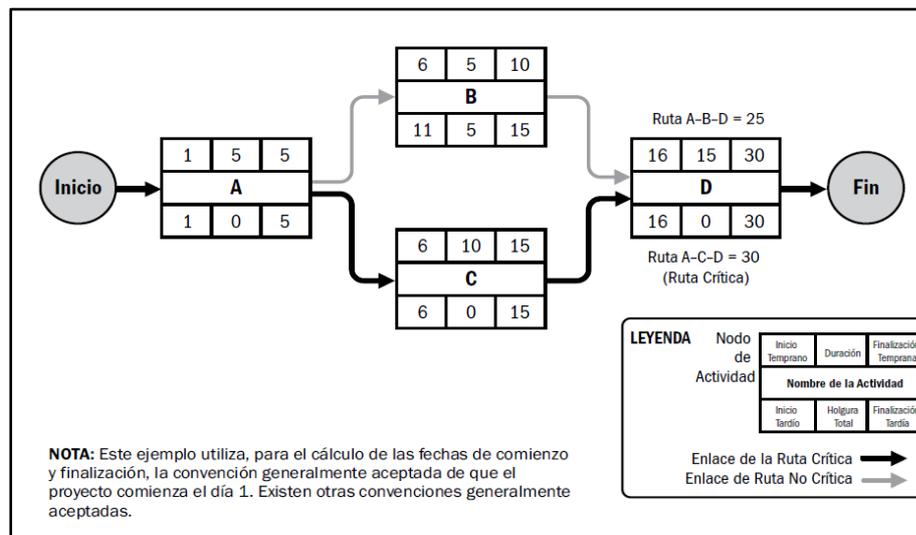
**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 144)

### 2.5.6.1. Métodos de programación

Existen varios métodos que se pueden manejar para la programación del proyecto, los cuales consisten en usar un software para detallar el trabajo que se necesita realizar, desglosándolo en todas sus tareas y colocando el tiempo de duración de cada una teniendo en cuenta al personal competente para cada función, seguidamente se hablará sobre tres métodos de programación.

- **Ruta crítica**

La ruta crítica refiere a un método que consiste en realizar una secuencia de las actividades y de esta manera determinar cuál es el menor tiempo en el que se puede terminar el proyecto, se realiza tomando en cuenta todas las actividades que tienen cero holguras y de esta forma consigue el camino de red lógico más corto posible (PMI, 2013).

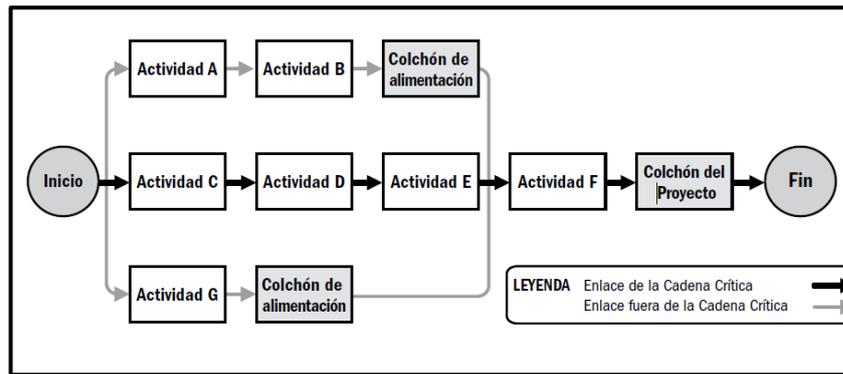


**Figura 14** Ejemplo de ruta crítica

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 177)

- **Cadena crítica**

La cadena crítica no genera un enfoque en el cumplimiento de cada una de sus tareas de acuerdo al tiempo establecido en la planificación si no que se determina un interés único en el cumplimiento global del proyecto en el tiempo ya previsto, la cadena crítica funciona acortando la duración de las actividades del proyecto para proporcionar de esta forma una holgura o amortiguamiento en este tiempo definido como holgura no se realizará ningún trabajo, únicamente la cadena crítica lo establece para proteger al proyecto y que este pueda ser entregado al cliente en el tiempo establecido (PMI, 2013).



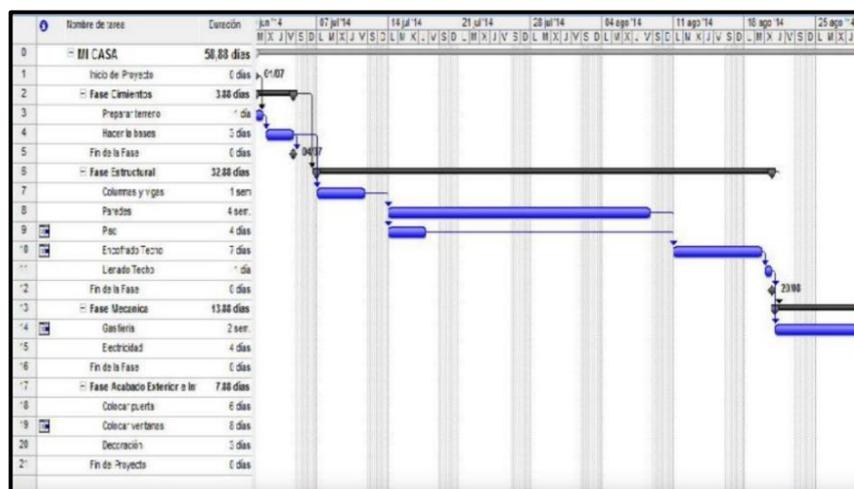
**Figura 15** Ejemplo de cadena crítica

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 178)

### 2.5.6.2. Herramientas de programación

- **Diagramas de Gantt**

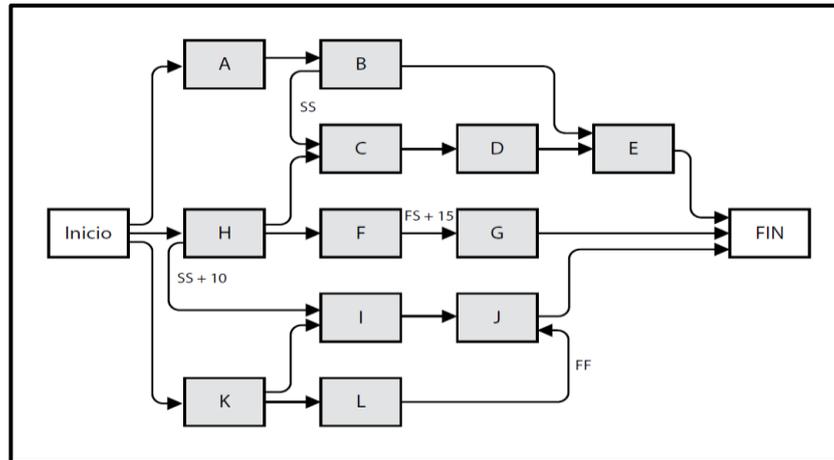
El diagrama de Gantt es una herramienta de control muy útil, atractiva y fácil de leer. Presenta la situación relativa de las actividades en el tiempo de una forma directa y sencilla, que puede ser leída e interpretada por cualquier persona con un mínimo de formación. (Mattos & Valderrama, 2014, pág. 136)



**Figura 16** Diagrama de Gantt

**Fuente:** (Project management software, 2002, pág. 30)





**Figura 18** Diagrama de red del cronograma de un proyecto

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 160)

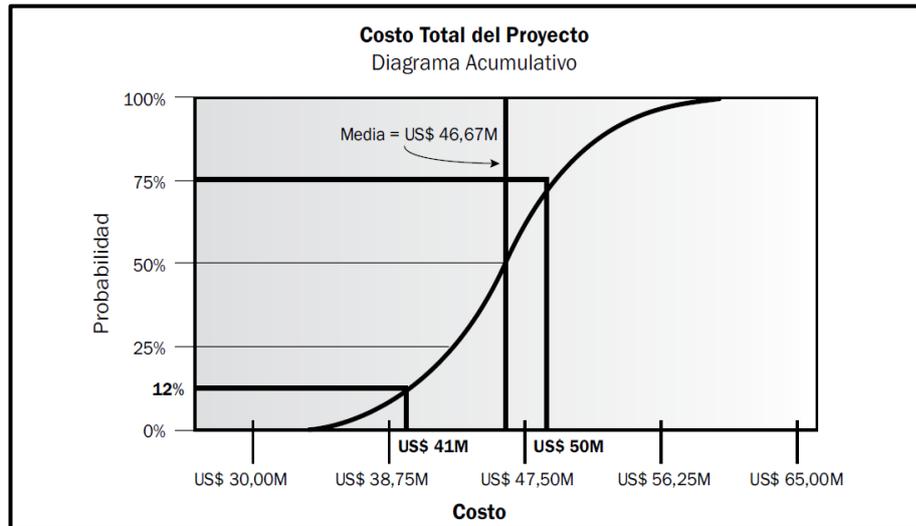
### 2.5.6.3. Técnicas de modelado

- **Análisis de Escenarios “¿Qué pasa si...?”**

“Los resultados del análisis del escenario “¿Qué pasa si...?” pueden usarse para evaluar la viabilidad del cronograma del proyecto bajo condiciones adversas, y para preparar planes de contingencia y respuesta para superar o mitigar el impacto de situaciones inesperadas”. (PMI, 2013, pág. 179)

- **Simulación**

La simulación se realiza a menudo mediante la técnica Monte Carlo la cual trata de un modelo de proyecto el cual se evalúa varias veces utilizando como comienzo números aleatorios para de esta forma generar probabilidades, al realizar la simulación de varios casos se podrá identificar el riesgo que se puede generar en un modelo real (PMI, 2013).



**Figura 19** Resultado de simulación de los riesgos relativos a los costos

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 340)

#### 2.5.6.4. Información del proyecto

“A lo largo del ciclo de vida del proyecto, se recopila, analiza, transforma y distribuye a los miembros del equipo del proyecto y a otros interesados una cantidad significativa de datos e información en diversos formatos”. (PMI, 2013, pág. 58)

Estos datos son los que se obtienen como consecuencia de todos los procesos llevados a cabo en la fase de ejecución, los mismo que luego de una previa revisión pasan a ser la información del proyecto.

- **Recursos de actividades**

Es necesario estimar los tipos y las cantidades de los recursos que se requerirán para hacer cada actividad específica con el propósito de estimar posteriormente cuánto tiempo tomará realizarla. Los recursos incluyen las personas, los materiales, el equipo, las instalaciones, etc. Los recursos estimados requeridos para una actividad influirán en la duración estimada para llevar a cabo esa actividad. (Gido & Clements, 2012, pág. 145)

- **Calendario**

El calendario de un proyecto reconoce los horarios y días en los que la empresa está laborando, cuando Project ejecuta una programación del proyecto por cualquiera de sus métodos el calendario es utilizado para no tomar en cuenta los días en los que no se labora en la empresa como, por ejemplo, días de feriado o domingos (Project management software, 2002).

- **Duración de actividades**

Cuando ya se han reconocido todas las actividades dentro de la planificación, se establecerá un periodo de duración para cada una de ellas, teniendo en cuenta los recursos financieros estimados para la ejecución del proyecto (Mattos & Valderrama, 2014).

- **Alcance del proyecto**

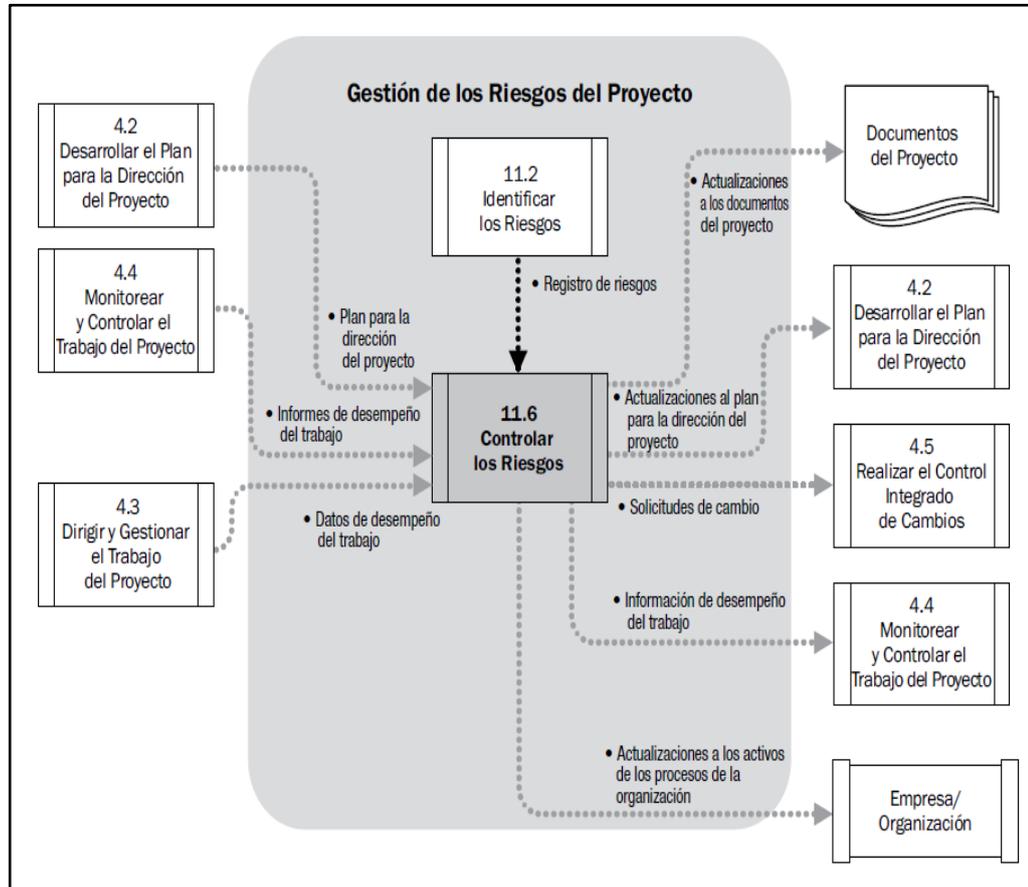
Es todo el trabajo que debe realizarse para producir todos los entregables del proyecto y que el patrocinador o cliente esté convencido de que todo el trabajo y los entregables cumplen con los requerimientos o con los criterios de aceptación y logran el objetivo del proyecto. (Gido & Clements, 2012, pág. 101)

Secciones tales como las circunstancias establecidas por el cliente, las principales tareas a ejecutar en el proyecto, los resultados del equipo del proyecto, los criterios de aprobación y las estructuras de división del trabajo EDT.

- **Registro de riesgos**

El registro de riesgos es un documento en el cual se registran los resultados del análisis de riesgos y de la planificación de la respuesta a los riesgos. Contiene los resultados de los demás procesos de gestión de riesgos a medida que se llevan a cabo, lo que da lugar a un incremento en el nivel y tipo de información

contenida en el registro de riesgos conforme transcurre el tiempo. (PMI, 2013, pág. 327)



**Figura 20** Control de riesgos

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 349)

- **Personal del proyecto**

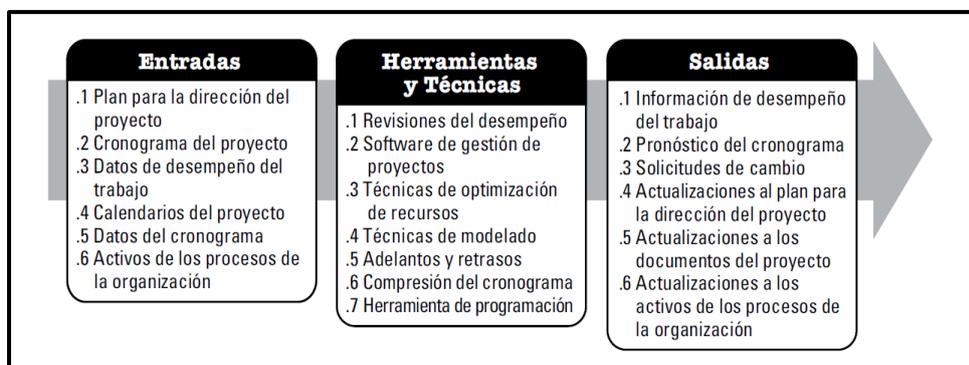
Luego de estar al tanto del alcance del proyecto y las exigencias que éste requiere se tendrá que seleccionar a un equipo capaz y comprometido, al cual se le asignará un área de trabajo con actividades a consumir, tomando en cuenta la habilidad que tenga y la necesidad del proyecto.

- **Factores ambientales de la empresa**

Cuando se mencionan a los factores ambientales de una empresa se refiere a todos los factores o aspectos que se presentan y son ajenos al control que realiza el director del proyecto y que influyen generando repercusiones positivas o negativas en el resultado del mismo.

### 2.5.7. Controlar cronograma

Controlar el Cronograma es el proceso de monitorear el estado de las actividades del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar los cambios de la línea base del cronograma a fin de cumplir el plan. El beneficio clave de este proceso es que proporciona los medios para detectar desviaciones con respecto al plan y establecer acciones correctivas y preventivas para minimizar el riesgo. (PMI, 2013, pág. 185)



**Figura 21** Controlar cronograma

**Fuente :** (PMI, 2013, pág. 185)

### 2.6. Gerencia de los costos del proyecto

La gerencia de los costos de un proyecto hace referencia a todos los procesos necesarios para obtener el financiamiento total del proyecto.

### 2.6.1. Planificación en base a la gestión de costos

La planificación se define como todas las acciones que se efectúan para cumplir con especificaciones políticas, es decir toda la información necesaria para realizar la planificación, el desarrollo y el monitoreo de los costos del proyecto, en la siguiente imagen se especificarán las fases de entrada, herramientas y salida para realizar esta acción (PMI, 2013).



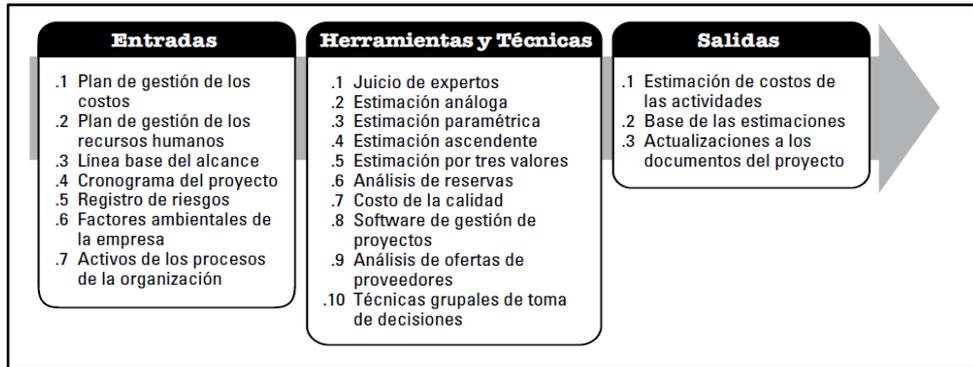
**Figura 22** Planificar la gestión de costos

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 195)

### 2.6.2. Realizar la estimación de los costos

En este proceso se estiman aproximadamente los costos monetarios de cada una de las actividades que involucran al proyecto para la elaboración del mismo, para de esta forma realizar el financiamiento del proyecto o contingencia de costos.

Se estiman los costos para todos los recursos que se van a asignar al proyecto. Estos incluyen, entre otros, el personal, los materiales, el equipamiento, los servicios y las instalaciones, así como otras categorías especiales, tales como el factor de inflación, el costo de financiación o el costo de contingencia. Una estimación de costos consiste en una evaluación cuantitativa de los costos probables de los recursos necesarios para completar la actividad. Las estimaciones de costos se pueden presentar a nivel de actividad o en formato resumido. (PMI, 2013, pág. 202)

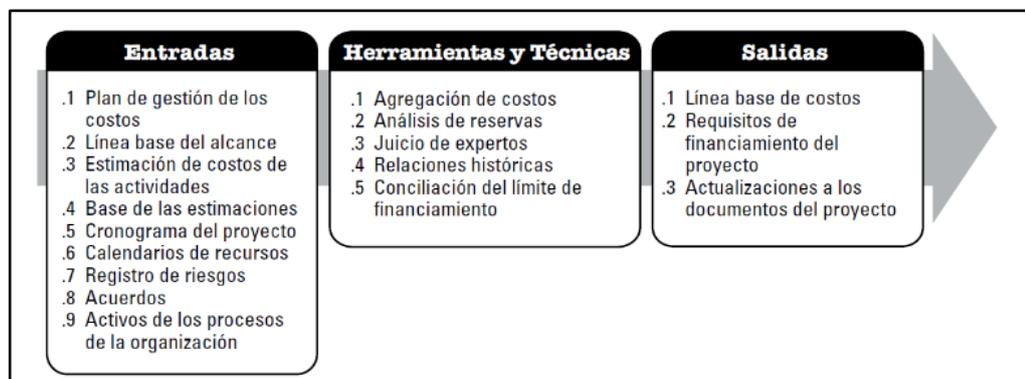


**Figura 23** Estimaciones de costos de un proyecto

Fuente: (PMI, 2013, pág. 200)

### 2.6.3. Determinar el presupuesto del proyecto

Luego de haber resuelto el plan de gestión de costos y la apreciación de los costos de cada una de las actividades propuestas en la planificación del proyecto se determina el presupuesto del mismo, este proceso se lo realiza mediante tres etapas las cuales se desglosarán en la próxima imagen.

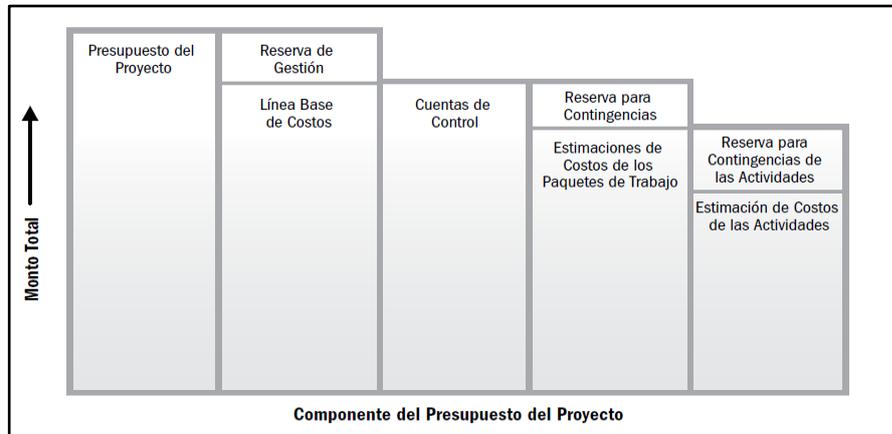


**Figura 24** Determinar el presupuesto

Fuente: (PMI, 2013, pág. 208)

El proceso de realizar el presupuesto consiste en elaborar la sumatoria de todas las estimaciones de costo que involucran al proyecto, estableciendo una línea base de costos la cual se representa mediante una curva S, esta línea base se utiliza para

supervisar y monitorear el rendimiento, ciertos proyectos de gran envergadura poseen más de una línea base de costos.

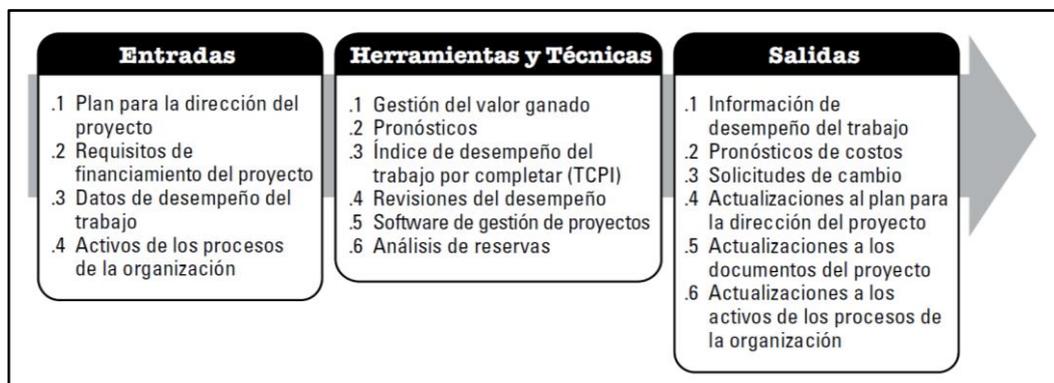


**Figura 25** Componentes del presupuesto del proyecto

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 213)

#### 2.6.4. Controlar los costos

En este proceso se controla y se monitorea el proyecto para de ser preciso realizar ajustes en la línea base de costos del proyecto, la ventaja de este proceso es que al ser ejecutado se pueden descubrir cualquier tipo de desviaciones con respecto al plan original del proyecto y permite tomar acciones para modificar y minimizar el riesgo.



**Figura 26** Controlar costos

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 215)

## **2.7. Técnicas utilizadas en el retraso de cronogramas de obras**

Existen varias técnicas destinadas para el retraso en los cronogramas de obra, los cuales se enfrentan a este problema por diversas razones entre ellas, por el rendimiento de los trabajadores o sencillamente porque se subestimó el tiempo que durarían las actividades, las técnicas enfocadas en esta investigación pueden volver a encauzar al cronograma si son manejadas de una forma adecuada, dependiendo de la circunstancia que haya ocasionado el retraso y de la gravedad del mismo, estas técnicas se clasifican en sencillas y drásticas.

### **2.7.1. Incrementar horas de trabajo**

El aumentar horas de trabajo lógicamente incrementará el avance diario de la obra, esta técnica se puede utilizar cuando ya está por finalizar el proyecto y se requiere de un último esfuerzo para poder entregarlo en el tiempo establecido.

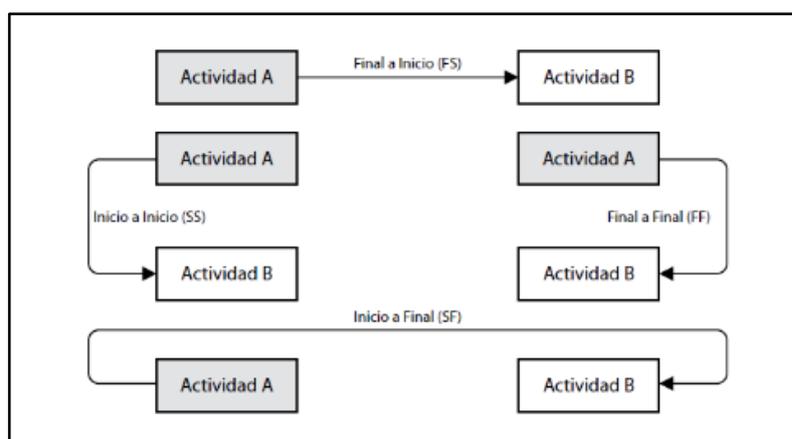
“Hacer que el equipo del proyecto trabaje horas extras para cumplir con los requisitos del cliente puede ocasionar disminución de las ganancias, incremento de los riesgos, agotamiento de los empleados, errores o retrabajos”. (PMI, 2013, pág. 228)

### **2.7.2. Reasignar recursos en la ruta crítica**

Reasignar recursos en la ruta crítica consiste en tomar recursos que no pertenecen a las actividades críticas, como por ejemplo personal de obra e incrementarlos a las actividades que por el contrario si pertenecen a esta ruta, se realiza con la finalidad de que la ruta crítica se reincorpore a la programación definida en la planificación, esta técnica generará un retraso en las actividades afectadas lo cual si se controla adecuadamente no implicará un inconveniente, ya que al no ser tareas críticas poseen cierta holgura (TenStep, 2012).

### 2.7.3. Verificar dependencias del cronograma

Las dependencias del cronograma señalan que actividades dependen de otras para poderse ejecutar, por lo tanto, estas deben llevar un orden lógico, las dependencias de un cronograma se deben de estudiar varias veces, ya que en ciertas ocasiones algunas de ellas resultan ser invalidas, este es uno de los procesos que se deben de realizar antes de tomar decisiones más radicales (TenStep, 2012).



**Figura 27** Tipos de relaciones del PDM

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 157)

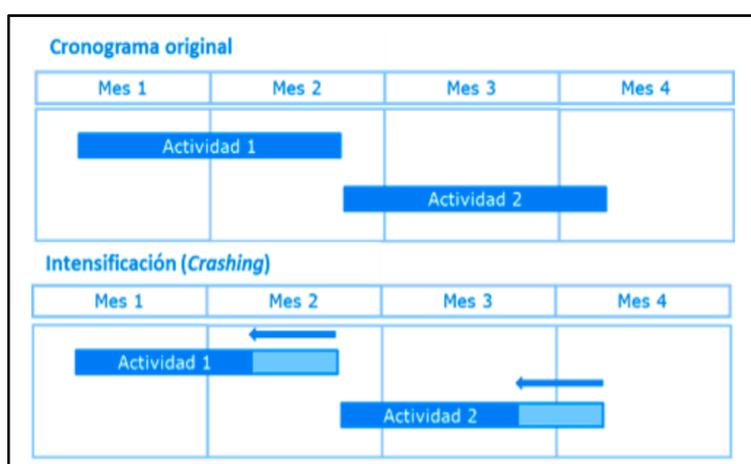
### 2.7.4. Verificar actividades restringidas por el tiempo

Ciertas actividades son restringidas por el tiempo, es decir, que su duración no dependerá de la cantidad de recursos que tenga, estas actividades deben de ser estudiadas antes de tomar decisiones más drásticas para comprimir el cronograma, ya que en ciertas ocasiones y bajo ciertas condiciones si se puede disminuir la duración de estas actividades, un ejemplo puede ser el tiempo que demora en fraguar el concreto o el tiempo que demora en llegar y descargar en la obra ciertos materiales o equipos requeridos (TenStep, 2012).

### 2.7.5. Intensificación (Crashing)

Es un método que comprime al cronograma que se utiliza cuando las actividades del proyecto se encuentran retrasadas o cuando el cliente requiere acelerar el tiempo de entrega del mismo. El crashing se ejecuta como una medida drástica al verificar que mediante otras técnicas más sencillas no se podrá cumplir con la fecha de entrega del mismo.

La intensificación se ejecuta aumentando recursos en las actividades del cronograma que tienen cero días de holgura, es decir, en las actividades que forman parte de la ruta crítica, ya que al acortar el tiempo de estas tareas se podrá reducir la duración del mismo, es importante tener en cuenta que debe existir el menor incremento de costo posible para que no se vea afectado el financiamiento total del proyecto.



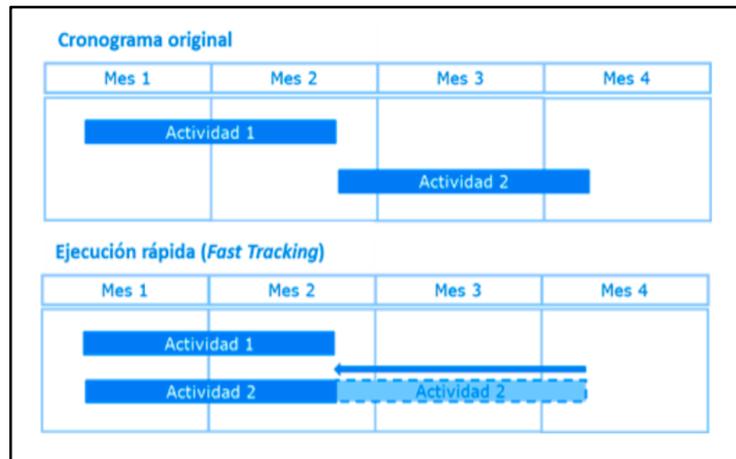
**Figura 28** Técnicas de crashing

**Fuente:** (Siles & Mondelo , 2016, pág. 58)

### 2.7.6. Ejecución rápida (Fast Tracking)

El PMI (2013) define a la ejecución rápida como la acción que permite que las actividades que usualmente generan una secuencia se las empieza a realizar en paralelo con la finalidad de comprimir el cronograma, existen ciertas restricciones en una

secuencia lógica que no permitirá que ciertas actividades se lleven en paralelo, pero serán ejecutadas en forma superpuestas.



**Figura 29** Técnica fast tracking

**Fuente:** (Siles & Mondelo , 2016, pág. 58)

### 2.7.7. Mejora de procesos

La mejora de procesos consiste en determinar si dentro de los procesos internos o externos existen aspectos que puedan ser mejorados por los miembros del equipo, sin necesitar tomar decisiones drásticas, como es el caso de incrementar múltiples recursos a la obra, un ejemplo puede ser que existan cuellos de botella, es decir, una situación o condición que limita el buen desarrollo de un proceso al crear una aglomeración de tareas en espera de ser ejecutadas (TenStep, 2012).

### 2.7.8. Recuperación de compromisos

TenStep (2012) determina que en algunos casos al no haber un buen control de resultados el equipo falla constantemente en cumplir con su fecha de entrega límite, en este caso es el gerente del proyecto que debe recuperar el compromiso de su equipo estableciendo obligaciones y condiciones para poder cumplir con la fecha de entrega.

### **2.7.9. Modificar Alcance**

Una vez que el programa y el presupuesto del proyecto han sido desarrollados se debe determinar si el proyecto puede completarse dentro del tiempo requerido, con los fondos asignados y los recursos disponibles. De no ser así, hay que hacer ajustes al alcance del proyecto, a las estimaciones de los recursos, a la duración de la actividad o a las asignaciones de recursos hasta que se pueda establecer un plan inicial realista y viable, esto es, un plan de acción para lograr el alcance del proyecto a tiempo y dentro del presupuesto. (Gido & Clements, 2012, pág. 19)

### **2.7.10. Reprogramación de la fecha límite**

La última opción es comunicarse con el cliente y pedir una prórroga para la entrega final del proyecto, con el objetivo de entregarlo completamente y en buen estado, lo principal sería intentar mediante múltiples técnicas, algunas ya mencionadas para volver a encaminar el cronograma a su plan original, únicamente en el caso de que estas técnicas fallen se recurrirá a la reprogramación de la fecha límite.

## **METODOLOGÍA**

### **3.1. Análisis de información ya existente sobre técnicas para recuperar cronogramas de obras retrasados.**

Luego de realizar un análisis sobre las técnicas ya existentes para comprimir y acelerar un cronograma de obras de construcción con retrasos en sus actividades, se concluyó que las técnicas se pueden subdividir en dos categorías. Las técnicas más drásticas, utilizadas cuando sus cronogramas poseen retrasos considerables y las técnicas más sencillas utilizadas cuando el retraso no es tan significativo y por ende más fácil de enmendarlo.

Las técnicas drásticas resultaron ser mucho más eficientes, por lo tanto, se profundizará sobre ellas en esta investigación, cuando se habla de técnicas drásticas se refiere a la intensificación y ejecución rápida.

### **3.2. Conclusión de entrevistas realizadas a expertos sobre técnicas para recuperar proyectos retasados.**

El objetivo de este tema de investigación es determinar cuáles son las técnicas más empleadas en los proyectos de construcción al detectar retrasos en sus actividades. Estas técnicas de determinan tomando como metodología la investigación de información ya existente, de lo cual se habló en la sección 3.1, y mediante entrevistas a Ingenieros con experiencia en la gestión de proyectos. Cabe recalcar que estas entrevistas han sido anexadas al final de este documento.

Luego de analizar las entrevistas se confirmó lo investigado previamente y es que las técnicas más utilizadas ante retrasos considerables en obras de construcción fueron las técnicas de intensificación (crashing) y ejecución rápida (fast tracking).

### 3.3. Relación tiempo-costo en las actividades de un proyecto.

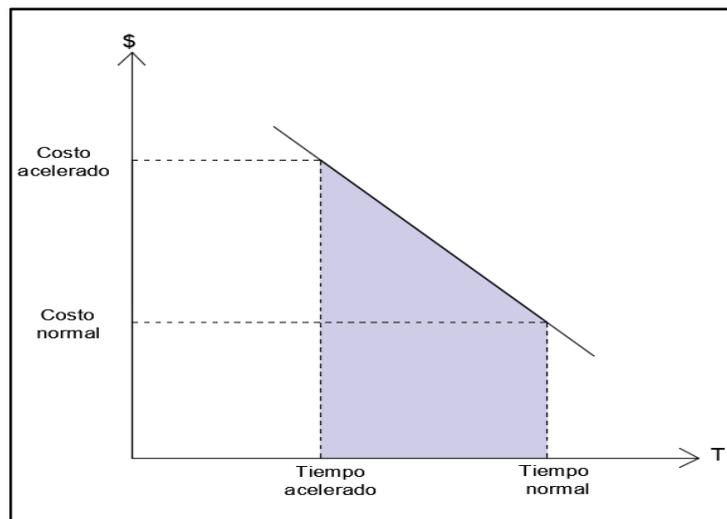
Cada actividad consta de un tiempo previamente establecido en la fase de planificación llamada tiempo normal o estándar, esta duración se la calcula mediante tres estimaciones de tiempos establecidos por PERT las cuales son, tiempo optimista (TO), tiempo pesimista (TP) y tiempo más probable (TM), relacionadas mediante la siguiente ecuación.

$$T = \frac{(TO + 4TM + TP)}{6}$$

**Ecuación 1** Tiempo esperado o tiempo normal

**Fuente:** (PMI, 2013, pág. 170)

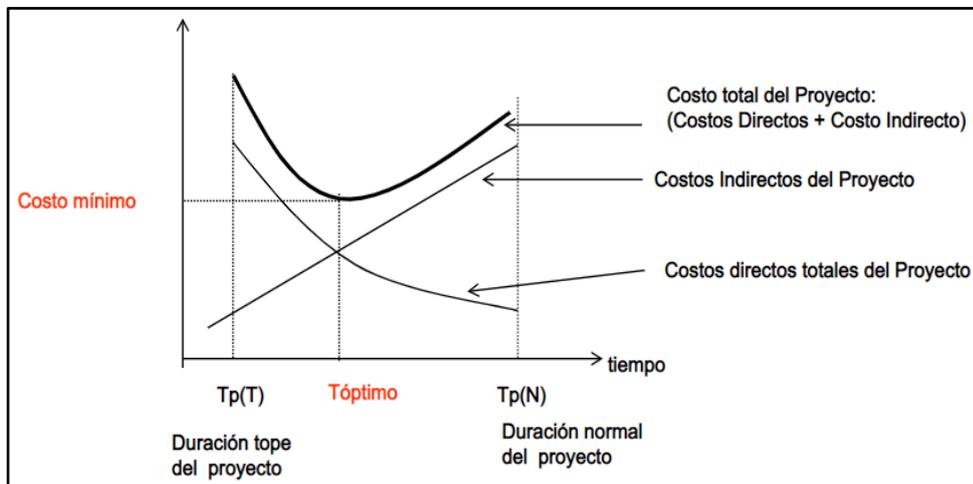
Esta “T” llamada tiempo normal o estándar, en cada actividad del proyecto dispondrá de un valor económico el cual se lo denomina como costo normal, Al realizar una aceleración en algunas o en cada una de las actividades del proyecto se genera un tiempo acelerado en cada tarea, y por ende un costo acelerado de las mismas. Esta relación costo-tiempo se ilustra en la siguiente gráfica, en la misma que se podrá notar superficialmente que el costo de un proyecto es inversamente proporcional a su tiempo de ejecución.



**Figura 30** Costo vs Tiempo

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

Hablando de una forma más específica, el comportamiento de los costos del proyecto al aplicar crashing varían de la siguiente manera, en el caso de los costos directos es decir todos aquellos que son medibles, incrementan su valor a medida que se acelera el tiempo previamente establecido para la ejecución de la obra, al contrario de lo que sucede con los costos indirectos o valores asignados ya que en este caso el costo disminuye a medida que se aceleran las actividades del proyecto. Por esta razón al acelerar un proyecto lo ideal es establecer un tiempo optimo, el cual se ubica entre la duración normal de la obra y la duración tope o acelerada.



**Figura 31** Costos directos e indirectos de un proyecto acelerado

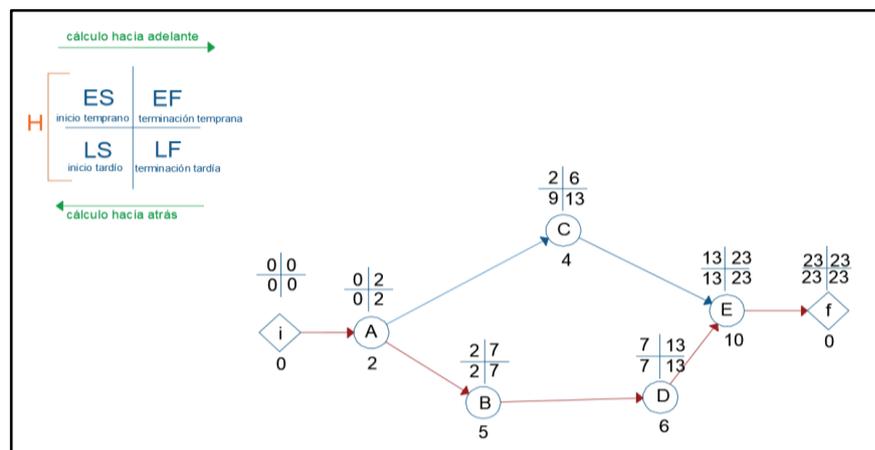
**Fuente:** (Bendimez, 2008, pág. 93)

Existen varios motivos por los cuales un proyecto se debe acelerar, una de las razones puede ser, porque el cliente así lo requiera o simplemente como sucede en el caso que se está analizando porque existe un retraso en su cronograma, resulta de suma importancia cumplir con la fecha de entrega establecida para de esta forma evitar que la empresa se enfrente a consecuencias penales.

### **3.4. Pasos para ejecutar crashing (intensificación)**

- a) Mediante el tiempo normal o estándar de cada actividad del proyecto se determina el tiempo crashing de las mismas, es decir, el menor tiempo posible para realizar cada actividad.
- b) Teniendo en cuenta el costo normal de cada actividad se determina el costo acelerado, el mismo que se establece en base a la experiencia en gerencia de proyectos y al manejo de los costos.
- c) Se determina cuáles son las actividades que están dentro de la ruta crítica es decir todas las actividades que tengan una holgura igual a cero días, este paso se puede realizar de manera automática mediante un software o de forma manual, cuando se determine la ruta crítica manualmente se tendrá en cuenta que cada actividad contará con cuatro cuadrantes de tiempo, el inicio más temprano (ES), la terminación más temprana (EF), el inicio más tardío (LS) y la terminación más tardía (LF). La ruta crítica se calculará de la siguiente manera:
  - El primer paso es graficar el diagrama de red donde se involucran todas las actividades con el tiempo normal o estándar de cada una de ellas.
  - El segundo paso es determinar los tiempos de inicio y terminación más tempranos de cada tarea, realizando el cálculo hacia delante es decir del inicio del diagrama de red hasta su final, el ES se define como el tiempo más temprano en que puede empezar una actividad tomando en cuenta el inicio del proyecto y la terminación más temprana de la actividad anterior, el early finish de una actividad es igual a  $(EF= ES + \text{duración normal o estándar de la actividad})$ .

- El tercer paso es calcular los tiempos de inicio y terminación más tardíos de cada tarea, se calculan desde atrás es decir desde el final del proyecto hacia el inicio del mismo, donde LF es el tiempo más tardío que puede durar una actividad tomando en cuenta el tiempo de terminación total del proyecto y la duración del inicio más tardío de la actividad anterior, el late start de una actividad es igual a  $(LS = LF - \text{duración normal o estándar de la actividad})$ , para concluir la holgura resulta de la diferencia entre el inicio más tardío LS menos el inicio más temprano ES o la diferencia entre la terminación más tardía LF menos la terminación más temprana EF, todas las actividades que tengan cero días de holgura son las que formarán parte de la ruta crítica.



**Figura 32** Holguras para determinar ruta crítica

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

- d) Hallar el costo de reducción por unidad de tiempo, el cual se utiliza para determinar como afecta tomar la iniciativa de acelerar el cronograma de obra en las ganancias que debe tener el gerente, en otras palabras, al definir los costos de reducción se analiza hasta qué punto se puede acelerar la obra sin que se vea extremadamente afectado el sistema financiero del proyecto.

$$\text{Costo de reducción} = \frac{\text{Costo (T)} - \text{Costo (N)}}{\text{Tiempo (N)} - \text{Tiempo (T)}}$$

**Ecuación 2** Costo de reducción por unidad de tiempo

**Fuente:** (Bendimez, 2008, pág. 91)

Dónde: Costo (T) es costo en condiciones aceleradas, Costo (N) es costo normal, Tiempo (N) es tiempo normal y Tiempo (T) es tiempo en condiciones aceleradas.

e) Se genera una tabla crashing mediante columnas que contienen la información que se mencionará a continuación:

- Las actividades del proyecto.
- Detalla si la actividad pertenece o no a la ruta crítica.
- Actividad predecesora de cada una de las tareas.
- El tiempo normal de cada actividad.
- El tiempo crashing o intensificado, es decir lo mínimo que se puede reducir el tiempo normal de una actividad.
- Costo normal de cada actividad.
- Costo crashing, es decir el costo de la actividad sometida a intensificación.

Nº	Actividades	Ruta Crítica	Predecesora	Tiempo Normal (Días o semanas)	Tiempo Acelerado (Días o semanas)	Costo Normal (\$)	Costo Acelerado (\$)
1	tarea 1						
2	tarea 2						
3	tarea 3						

**Figura 33** Formato de tabla crashing

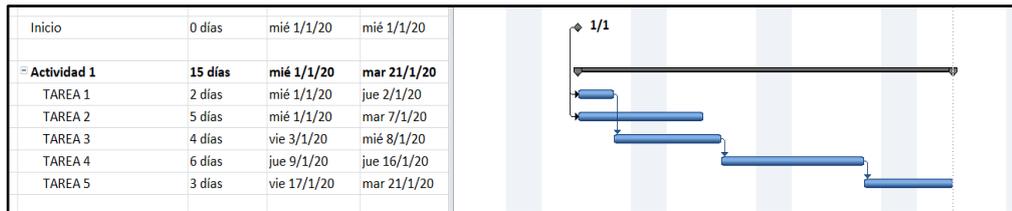
**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

f) Para realizar la aceleración del proyecto primero se debe reducir la actividad crítica que menos costo por semana tenga, esto se debe a que como ya se ha explicado en secciones anteriores al disminuir el tiempo de un proyecto se incrementará el valor económico de la misma, por esta razón se reduce el

tiempo paulatinamente de semana en semana y se empieza con la semana que tenga menos costo y que por ende generará un menor incremento para el presupuesto, este valor que se genera al reducir una semana de trabajo se lo incrementa al costo normal.

- g) Luego de comprimir el cronograma de actividades se vuelve a generar la ruta crítica, con la finalidad de determinar finalmente cuáles serán las tareas con cero días de holgura, se debe tener en cuenta que en algunos casos se generan más de una ruta crítica.
- h) En el caso de que exista una única ruta crítica se trabaja con las actividades que aún puedan ser acortadas y como se lo mencionó anteriormente que también tenga el menor costo.
- i) En el caso de que se generen más de una ruta crítica se debe identificar las actividades que no hayan sido reducidas a su tiempo mínimo de ejecución, que generen el menor costo de incremento al presupuesto al ser comprimidas, que sean comunes en las rutas críticas o que sean actividades que pertenezcan por separado a cada una de las rutas.
- j) Acelerar el tiempo de las actividades de la ruta crítica hasta que estas tengan el tiempo mínimo para entregar el proyecto con una buena calidad, repetir los pasos hasta que se haya cumplido con contrarrestar el retraso del cronograma o cumplir con la fecha de adelanto solicitada por el cliente.

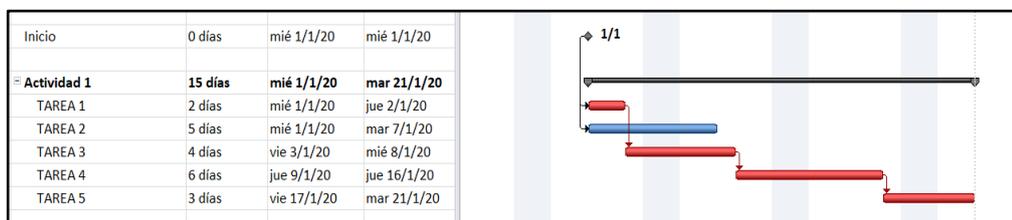
Para comprender de mejor manera la ejecución de la técnica de intensificación se propone el siguiente ejemplo de aplicación, en la imagen que se observa a continuación se puede apreciar el cronograma original de la actividad 1 de un proyecto, este cronograma tiene una duración de 15 días, el proyecto se deberá reducir a 7 días mediante la técnica crashing.



**Figura 34** Ejemplo crashing - Cronograma original

**Fuente:** Microsoft Office Project Professional 2010

Se determina la ruta crítica del cronograma original para de esta forma reconocer que actividades serán necesarias comprimir aplicando intensificación.



**Figura 35** Ejemplo crashing - Ruta crítica

**Fuente:** Microsoft Office Project Professional 2010

Las actividades que resultan ser críticas, es decir, las actividades que tienen cero días de holgura son aquellas a las que se les deberá aplicar intensificación, para de esta manera cumplir con el objetivo de comprimir al cronograma. Se genera una tabla crashing en la cual se indica el tiempo y el costo acelerado de las actividades críticas.

Actividades	Ruta Crítica	Predecesora	Tiempo Normal (Dias o semanas)	Tiempo Acelerado (Dias o semanas)	Costo Normal (\$)	Costo Acelerado (\$)
tarea 1	si	Inicio	2 dias	1 dia	40.00	70.00
tarea 2	no	Inicio	5 dias	5 dias	40.00	40.00
tarea 3	si	1	4 dias	2 dias	15.00	50.00
tarea 4	si	3	6 dias	3 dias	25.00	60.00
tarea 5	si	4	3 dias	1 dia	150.00	250.00
					270.00	470.00

**Figura 36** Ejemplo crashing - Tabla crashing

**Fuente:** Microsoft Office Project Professional 2010

Luego de reducir la duración de las actividades críticas y de lograr el objetivo de este ejemplo, el cual es reducir el cronograma a 7 días se genera la nueva ruta crítica.

Inicio	0 días	mié 1/1/20	mié 1/1/20
Actividad 1	7 días	mié 1/1/20	jue 9/1/20
TAREA 1	1 día	mié 1/1/20	mié 1/1/20
TAREA 2	5 días	mié 1/1/20	mar 7/1/20
TAREA 3	2 días	jue 2/1/20	vie 3/1/20
TAREA 4	3 días	lun 6/1/20	mié 8/1/20
TAREA 5	1 día	jue 9/1/20	jue 9/1/20

**Figura 37** Ejemplo crashing - Nueva ruta crítica

**Fuente:** Microsoft Office Project Professional 2010

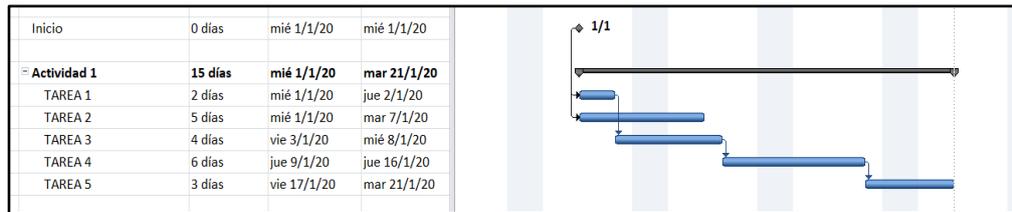
### 3.5. Pasos para ejecutar fast tracking (Ejecución rápida)

- El primer paso es identificar cuanto tiempo se necesita acelerar el cronograma.
- El segundo paso es tener el conocimiento de cuáles son las actividades que pertenecen a la ruta crítica, ya que mediante esas actividades se puede influir sobre el tiempo de entrega del proyecto, sin embargo no se tienen que descuidar las actividades que se encuentran fuera de la ruta crítica, ya que al acelerar el cronograma de tiempo estas actividades pueden pasar a tener cero días de holgura, para determinar la ruta crítica en un diagrama de red se realizarán los

pasos que se indican en la sección 3.4 literal d de este proyecto de investigación.

- c) El tercer paso es analizar la probabilidad de realizar actividades que originalmente fueron relacionadas y programadas en forma secuencial a actividades ejecutadas en forma paralela o superpuestas, esta acción se realiza mediante el análisis de las dependencias de tareas, en el que se examina que tarea dependen de otras para su ejecución.
- d) Otra opción para reducir el cronograma en fast tracking es decidir si existen tareas que pueden ser subdivididas, es decir una actividad extensa se puede subdividir en varias tareas más pequeñas y al mismo tiempo se especifica cuáles de estas tareas pueden ser superpuestas, con la finalidad de acortar la duración de las actividades y por ende del proyecto en general.
- e) Por último, se debe determinar qué impacto tendrá sobre el proyecto ejecutar esta técnica de ejecución rápida (Fast tracking), y a su vez definir si es factible o no realizarla.

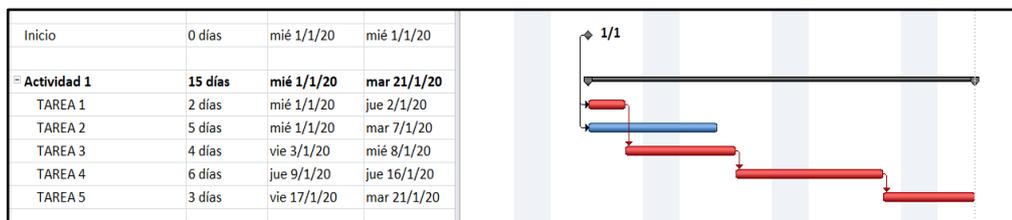
Para comprender de mejor manera la aplicación de la técnica de ejecución rápida se propone el siguiente ejemplo, en la imagen que se podrá apreciar el cronograma original de un proyecto, este cronograma tiene una duración de 15 días y se deberá reducir a 7 días aplicando la técnica de fast tracking.



**Figura 38** Ejemplo fast tracking - Cronograma original

**Fuente:** Microsoft Office Project Professional 2010

Primero se determinará la ruta crítica del cronograma original de obra, para de esta forma reconocer a que tareas se le aplicará el fast tracking.



**Figura 39** Ejemplo fast tracking - Ruta crítica original

**Fuente:** Microsoft Office Project Professional 2010

Luego de identificar a las actividades críticas del proyecto, se realiza un análisis y se aplica el fast tracking, en este ejemplo de aplicación la tarea 3 se empezará a ejecutar un día después que la tarea 1 haciendo que trabajen de forma parcialmente paralela, la tarea 3 y 4 se realizarán de forma simultánea y, por último, la tarea 5 se ejecutará 3 días después de la tarea 4 trabajando de forma parcialmente simultáneas y de esta forma logrando con el objetivo de reducir al cronograma a 7 días mediante fast tracking. Lo descrito se podrá observar en la siguiente imagen.



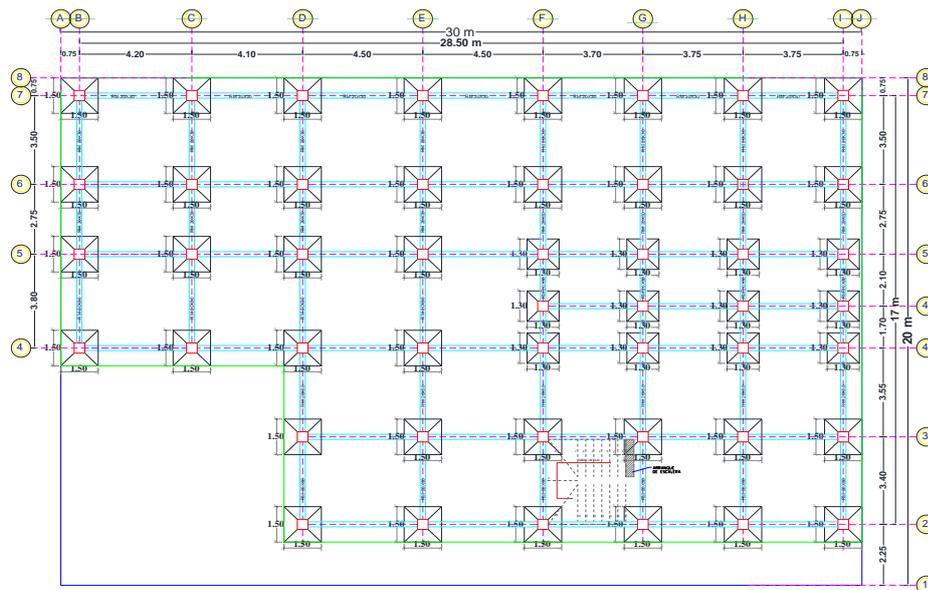
**Figura 40** Ejemplo fast tracking – Nueva ruta crítica

**Fuente:** Microsoft Office Project Professional 2010

# DESARROLLO

## 4.1. Aplicación de crashing y fast tracking para reducir el cronograma de proyecto.

Se piensa construir un proyecto de una cimentación en la ciudad de Guayaquil el cual requiere que se reduzca la duración de su cronograma de obra por petición del cliente, teniendo en cuenta que el financiamiento del proyecto no se podrá ver drásticamente incrementado luego de esta acción. El cronograma original del proyecto tiene una duración de 36 días y el objetivo será reducirlo a 25 días mediante las técnicas de crashing y fast tracking.



**Figura 41** Datos de cimentación para un edificio de cuatro niveles

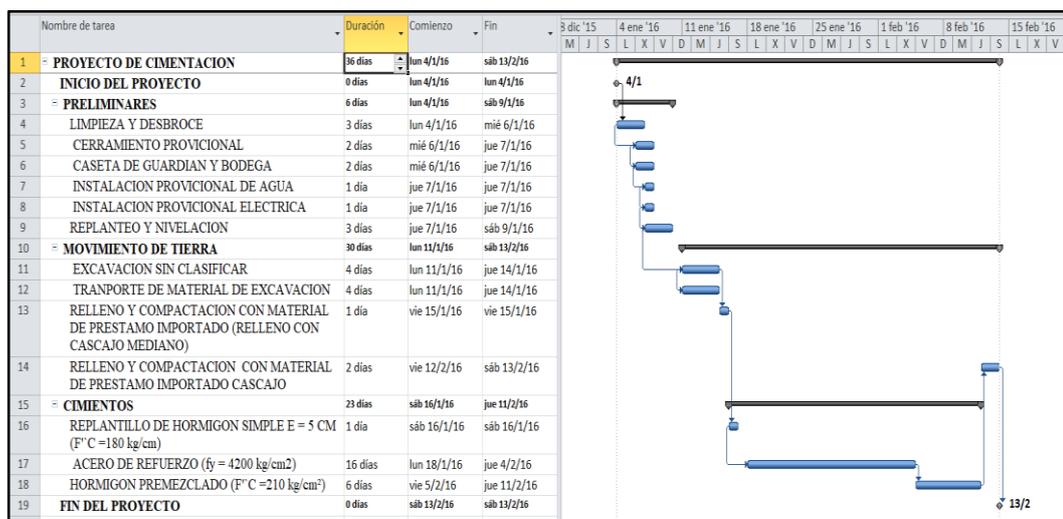
**Fuente:** Naomi Jumey Chum Saavedra

La cimentación servirá de base para la sustentación de un edificio de 4 niveles, y se construirá teniendo en cuenta las siguientes especificaciones técnicas:

- El área total del terreno es de 600m<sup>2</sup>.
- Cimentación tipo zapata aislada.

- La resistencia de diseño especificada para el concreto es de  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ .
- El esfuerzo de fluencia del acero  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ .

En las siguientes imágenes se observará, el cronograma original de este proyecto de cimentación el cual requiere ser acelerado mediante las técnicas de compresión y la tabla con los costos normales o estándares de cada una de las actividades de la obra.



**Figura 42** Cronograma original de proyecto de cimentación

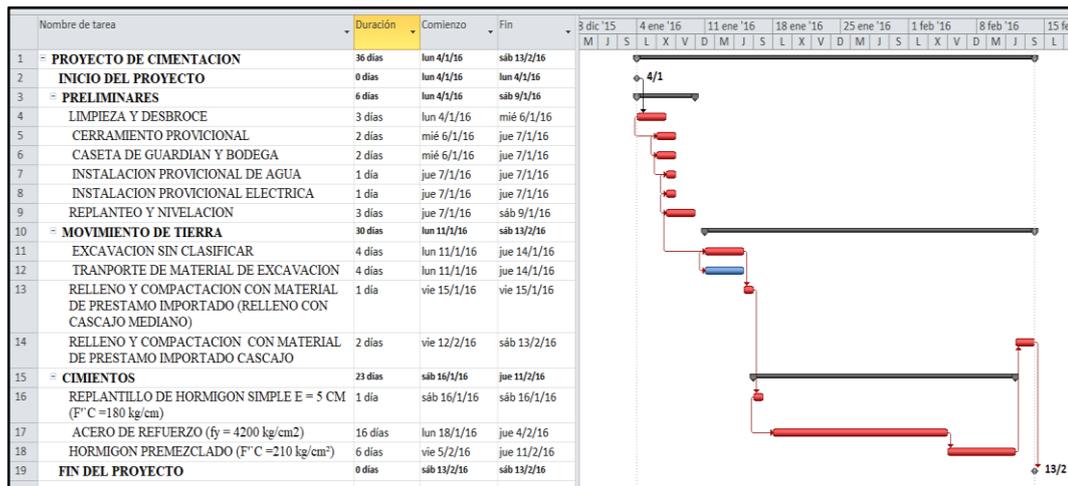
**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
	<b>PRELIMINARES</b>				
100	LIMPIEZA Y DESBROCE	m <sup>2</sup>	600.00	1.35	810.00
101	CERRAMIENTO PROVISIONAL	m	30.00	17.65	529.50
102	CASETA DE GUARDIAN Y BODEGA	m <sup>2</sup>	36.00	24.73	890.28
103	INSTALACIÓN PROVISIONAL DE AGUA	glb	1.00	361.57	361.57
104	INSTALACIÓN PROVISIONAL ELÉCTRICA	glb	1.00	489.66	489.66
105	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	m <sup>2</sup>	500.00	1.90	950.00
	<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				
106	EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR	m <sup>3</sup>	805.00	2.12	1,706.60
107	TRANSPORTE DE MATERIAL DE EXCAVACIÓN	m <sup>3</sup>	805.00	3.92	3,155.60
108	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO (RELLENO CON CASCAJO MEDIANO)	m <sup>3</sup>	200.00	14.90	2,980.00
109	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL DE PRESTAMO IMPORTADO CASCAJO	m <sup>3</sup>	427.95	17.24	7,377.81
	<b>CIMENTACIÓN</b>				
110	REPLANTILLO DE HORMIGÓN SIMPLE E = 5 CM (F' C = 180 kg/cm)	m <sup>3</sup>	5.80	147.53	855.67
111	ACERO DE REFUERZO	kg	8,245.63	2.01	16,573.72
112	HORMIGÓN PREMEZCLADO (F' C = 210 kg/cm <sup>2</sup> )	m <sup>3</sup>	95.48	153.70	14,675.28
	<b>TOTAL</b>				<b>51,355.69</b>

**Figura 43** Costo normal o estándar de proyecto de cimentación

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

Luego de conocer la duración original de cada actividad del proyecto se determinan cuáles son las tareas que forman parte de la ruta crítica, estas tareas se pueden identificar manualmente o de forma automática mediante diferentes softwares, en este proyecto de cimentación se utilizó el Microsoft Office Project Professional 2010, la ruta crítica de este proyecto se verá reflejada en la siguiente imagen.



**Figura 44** Ruta crítica proyecto de cimentación

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

El objetivo principal de este ejemplo de aplicación será reducir al cronograma original de obra de 36 a 25 días laborables, en primer lugar, se comprimirá el tiempo de duración de ciertas actividades realizando el análisis pertinente y aplicando la técnica de crashing, como se podrá notar a continuación.

En la tarea de limpieza y desbroce del terreno la duración original era de 3 días con un costo normal de 810.00 dólares, al comprimir esta tarea a 1 día de trabajo su costo incrementó a 1,140.00 dólares debido a que el desbroce y limpieza se lo realizará mediante maquinaria, en la siguiente imagen se podrá notar el análisis de costo de esta actividad en su etapa original y luego de haberse comprimido.

<b>RUBRO:</b>	Desbroce y limpieza del terreno
<b>UNIDAD:</b>	m2
<b>DETALLE:</b>	

<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Herramienta Menor	5%MO		0.00		0.05
<b>SUBTOTAL (M):</b>					0.05

<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	8.0000	3.18	25.44	0.0400	1.02
Maestro mayor en ejecución de obras civiles	1.0000	3.57	3.57	0.0160	0.0571
<b>SUBTOTAL (N):</b>					1.07

<b>(C) MATERIALES</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
<b>SUBTOTAL (O):</b>				0.00

<b>(D) TRANSPORTE</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
<b>SUBTOTAL (P):</b>				0.00

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>	1.13
<b>COSTO INDIRECTO</b>	20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>	1.35

**Figura 45** Análisis de costo- Desbroce y limpieza

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

<b>RUBRO:</b>	Desbroce y limpieza del terreno
<b>UNIDAD:</b>	m2
<b>DETALLE:</b>	

<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Excavadora	1.0000	55.00	55.00	0.0133	0.73
Volqueta 10m3	1.0000	45.00	45.00	0.0133	0.60
Herramienta menor	5%MO				0.01
<b>SUBTOTAL (M):</b>					1.34

<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Op. Volqueta	1.0000	4.67	4.67	0.0133	0.06
Op. De excavadora	1.0000	3.57	3.57	0.0133	0.05
Ayudante de maquinaria	2.0000	3.18	6.36	0.0133	0.08
Maestro de obra	1.0000	3.57	3.57	0.0133	0.05
<b>SUBTOTAL (N):</b>					0.24

<b>(C) MATERIALES</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
<b>SUBTOTAL (O):</b>				0.00

<b>(D) TRANSPORTE</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
<b>SUBTOTAL (P):</b>				0.00

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>	1.58
<b>COSTO INDIRECTO</b>	20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>	1.90

**Figura 46** Análisis de costo - Desbroce y limpieza (actividad acelerada)

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

La tarea de cerramiento provisional tiene una duración original de 2 días con un costo de 529.50 dólares, se reducirá a 1 día con un costo de 764.40 dólares, debido a que se añaden equipos de herramienta menor y equipos como taladros para acelerar la actividad.

<b>RUBRO:</b>	Cerramiento provisional
<b>UNIDAD:</b>	ml
<b>DETALLE:</b>	

<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Herramienta Menor	5%MO		0.00		0.03
<b>SUBTOTAL (M):</b>					0.35

<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Ayudante de albañil	1.0000	3.10	3.10	0.5300	1.64
Peón	2.0000	3.18	6.36	0.5300	3.37
Maestro mayor en ejecución de obras ci	1.0000	3.57	3.57	0.5300	1.89
<b>SUBTOTAL (N):</b>					6.91

<b>(C) MATERIALES</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
Clavos 2 - 3 "	Kg	0.3000	0.72	0.22
Yute	m	1.3900	1.39	1.9300
Puntilla de 2 1/2 plg	ml	1.8000	1.80	3.2400
Repisas de ordinario de 4x4 cm	ml	1.3900	1.20	1.6700
Estacones de madera de 3m	u	1.0000	0.40	0.4000
<b>SUBTOTAL (O):</b>				7.46

<b>(D) TRANSPORTE</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
<b>SUBTOTAL (P):</b>				0.00

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>	14.71
<b>COSTO INDIRECTO</b>	20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>	17.65

**Figura 47** Análisis de costo - Cerramiento provisional

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

<b>RUBRO:</b>	Cerramiento provisional
<b>UNIDAD:</b>	ml
<b>DETALLE:</b>	

<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Taladro	2.0000	3.00	6.00	0.2667	6.27
Herrameinta menor	10%MO				0.68
<b>SUBTOTAL (M):</b>					6.95

<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Ayudante de albañil	3.0000	3.10	9.30	0.2667	2.48
Peón	4.0000	3.18	12.72	0.2667	3.39
Maestro mayor en ejecución de obras ci	1.0000	3.57	3.57	0.2667	0.95
<b>SUBTOTAL (N):</b>					6.82

<b>(C) MATERIALES</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo
Clavos 2 - 3 "	Kg	0.3000	0.72	0.22
Yute	m	1.3900	1.39	1.9300
Puntilla de 2 1/2 plg	ml	1.8000	1.80	3.2400
Repisas de ordinario de 4x4 cm	ml	1.3900	1.20	1.6700
Estacones de madera de 3m	u	1.0000	0.40	0.4000
<b>SUBTOTAL (O):</b>				7.46

<b>(D) TRANSPORTE</b>				
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
<b>SUBTOTAL (P):</b>				0.00

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>	21.23
<b>COSTO INDIRECTO</b>	20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>	25.48

**Figura 48** Análisis de costo - Cerramiento provisional (actividad acelerada).

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

La tarea de caseta de guardián y bodega tiene una duración de 2 días con un costo de 890.28 dólares, el cual se reducirá a 1 día de trabajo utilizando una caseta de guardián y bodega prefabricada con la finalidad de optimizar el tiempo del proyecto, incrementando su valor a 1,200.00 dólares.

<b>RUBRO:</b>	Caseta de guardian y bodega				
<b>UNIDAD:</b>	m2				
<b>DETALLE:</b>					
<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Herramienta Menor	5%MO		0.00		0.32
<b>SUBTOTAL (M):</b>					0.32
<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Peón	2.0000	3.18	6.36	0.3300	2.10
Carpintero	4.0000	3.22	12.88	0.3300	4.25
<b>SUBTOTAL (N):</b>					6.35
<b>(C) MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Tabla de monte 30 c.	u	5.0000	1.00	5.00	
Tiras 2.5 x 2.5 x 250	u	2.0000	0.50	1.00	
Clavos	kg	0.4000	0.67	0.27	
Pingos	m	2.0000	0.72	1.44	
Zinc	m2	1.0000	2.43	2.43	
Viga de eucalipto 15x15	m	0.5000	4.00	2.00	
Alfaja 7 x 7 x250	u	1.0000	1.80	1.80	
<b>SUBTOTAL (O):</b>					13.94
<b>(D) TRANSPORTE</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
<b>SUBTOTAL (P):</b>					0.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>					20.60
<b>COSTO INDIRECTO</b>					20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>					24.73

**Figura 49** Análisis de costo - Caseta de guardián y bodega

**Fuente:** Naomi Jumey Chum Saavedra

<b>RUBRO:</b>	Caseta de guardian y bodega				
<b>UNIDAD:</b>	Global				
<b>DETALLE:</b>					
<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Herramienta Menor	5%MO		0.00		0.00
<b>SUBTOTAL (M):</b>					0.00
<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Rendimiento (horas)	Costo
Ayudante de albañil	1.0000	3.10	3.10	0.0100	0.03
Peón	1.0000	3.18	3.18	0.0100	0.0318
<b>SUBTOTAL (N):</b>					0.06
<b>(C) MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Caseta prefabricada de 36x36 m2	global	1.0000	1,000.00	1,000.00	
<b>SUBTOTAL (O):</b>					1,000.00
<b>(D) TRANSPORTE</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
<b>SUBTOTAL (P):</b>					0.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>					1000.07
<b>COSTO INDIRECTO</b>					20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>					1200.08

**Figura 50** Análisis de precio - Caseta de guardián y bodega (Actividad acelerada)

**Fuente:** Naomi Jumey Chum Saavedra

En la tarea de replanteo y nivelación su duración original es de 3 días con un costo de 950.00 dólares, esta actividad se aceleró a 2 días y su costo total se incrementó a 1,070.00 dólares, lo mismo que se detalla en el análisis de precios unitarios que se observara a continuación.

<b>RUBRO:</b>	Replanteo y nivelación				
<b>UNIDAD:</b>	m2				
<b>DETALLE:</b>					

<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Herramienta Menor	5%MO		0.00		0.05
Equipo de topografía	2.0000	2.00	4.00	0.0588	0.24
Vehículo liviano	1.0000	3.50	3.50	0.0588	0.21
<b>SUBTOTAL (M):</b>					0.49

<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Cadenero	3.0000	3.22	9.66	0.0470	0.45
Topografo	3.0000	3.57	10.71	0.0470	0.50
<b>SUBTOTAL (N):</b>					0.96

<b>(C) MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Clavos 2 - 3"	Kg	0.0500	0.72	0.04	
Tiras de eucalipto 2 x 2 x 300 cm	u	0.2000	0.50	0.1000	
<b>SUBTOTAL (O):</b>					0.14

<b>(D) TRANSPORTE</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
<b>SUBTOTAL (P):</b>					0.00

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>	1.59
<b>COSTO INDIRECTO</b>	20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>	1.90

**Figura 51** Análisis de precios unitarios- replanteo y nivelación

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

<b>RUBRO:</b>	Replanteo y nivelación				
<b>UNIDAD:</b>	m2				
<b>DETALLE:</b>					

<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Herramienta Menor	5%MO		0.00		0.06
Equipo de topografía	4.0000	2.00	8.00	0.0320	0.26
Vehículo liviano	1.0000	3.50	3.50	0.0320	0.11
<b>SUBTOTAL (M):</b>					0.43

<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Rendimiento	Costo
Cadenero	4.0000	3.22	12.88	0.0320	0.41
Topografo	4.0000	3.57	14.28	0.0320	0.46
Peon	3.0000	3.18	9.54	0.0320	0.31
<b>SUBTOTAL (N):</b>					1.17

<b>(C) MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
Clavos 2 - 3"	Kg	0.0500	0.72	0.04	
Tiras de eucalipto 2 x 2 x 300 cm	u	0.2000	0.50	0.1000	
<b>SUBTOTAL (O):</b>					0.14

<b>(D) TRANSPORTE</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
<b>SUBTOTAL (P):</b>					0.00

<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>	1.74
<b>COSTO INDIRECTO</b>	20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>	2.14

**Figura 52** Análisis de precio unitario- replanteo y nivelación (actividad acelerada)

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

En la tarea de excavación de suelo sin clasificar su financiamiento original fue de 1,706.60 dólares, esta actividad tenía planificado ejecutarse en 4 días, pero al aplicar crashing se llegó a reducir a 1 día de ejecución aumentando la mano de obra y utilizando maquinaria con mayor rendimiento diario lo cual se puede identificar en las siguientes imágenes. El valor total se incrementó a 1,891.75 dólares.

RUBRO:	Excavación mecánica en suelo sin clasificar				
UNIDAD:	m3				
DETALLE:					
<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Retroexcavadora	1.0000	25.00	25.00	0.0400	1.00
<b>SUBTOTAL (M):</b>					1.00
<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Participación (horas)	Costo
Op. de Retroexcavadora	1.0000	3.38	3.38	0.0400	0.14
Ayudante de Maquinaria	1.0000	3.09	3.09	0.0400	0.12
Peón	4.0000	3.18	12.72	0.0400	0.51
<b>SUBTOTAL (N):</b>					0.77
<b>(C) MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
<b>SUBTOTAL (O):</b>					0.00
<b>(D) TRANSPORTE</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
<b>SUBTOTAL (P):</b>					0.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>					1.77
<b>COSTO INDIRECTO</b>					20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>					2.12

**Figura 53** Análisis de costos- Excavación mecánica en suelo

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

RUBRO:	Excavación mecánica en suelo sin clasificar				
UNIDAD:	m3				
DETALLE:					
<b>(A) EQUIPO/HERRAMIENTAS</b>					
Descripción	Cantidad	tarifa Hora	costo Hora	Uso(horas)	Costo
Excavadoras	2.0000	75.00	150.00	0.0100	1.50
herramienta menor	5%MO				0.02
<b>SUBTOTAL (M):</b>					1.50
<b>(B) MANO DE OBRA</b>					
Descripción	Cantidad	Salario Hora	Costo Hora	Participación (horas)	Costo
Op. de Retroexcavadora	2.0000	3.38	6.76	0.0100	0.07
Ayudante de Maquinaria	2.0000	3.09	6.18	0.0100	0.06
Peón	10.0000	3.18	31.80	0.0100	0.32
<b>SUBTOTAL (N):</b>					0.45
<b>(C) MATERIALES</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit.	Costo	
<b>SUBTOTAL (O):</b>					0.00
<b>(D) TRANSPORTE</b>					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo	
<b>SUBTOTAL (P):</b>					0.00
<b>TOTAL COSTO DIRECTO (D=M+N+O+P)</b>					1.95
<b>COSTO INDIRECTO</b>					20.00%
<b>COSTO UNITARIO TOTAL (C=D+I+U)</b>					2.35

**Figura 54** Análisis de costos - Excavación mecánica (actividad acelerada)

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

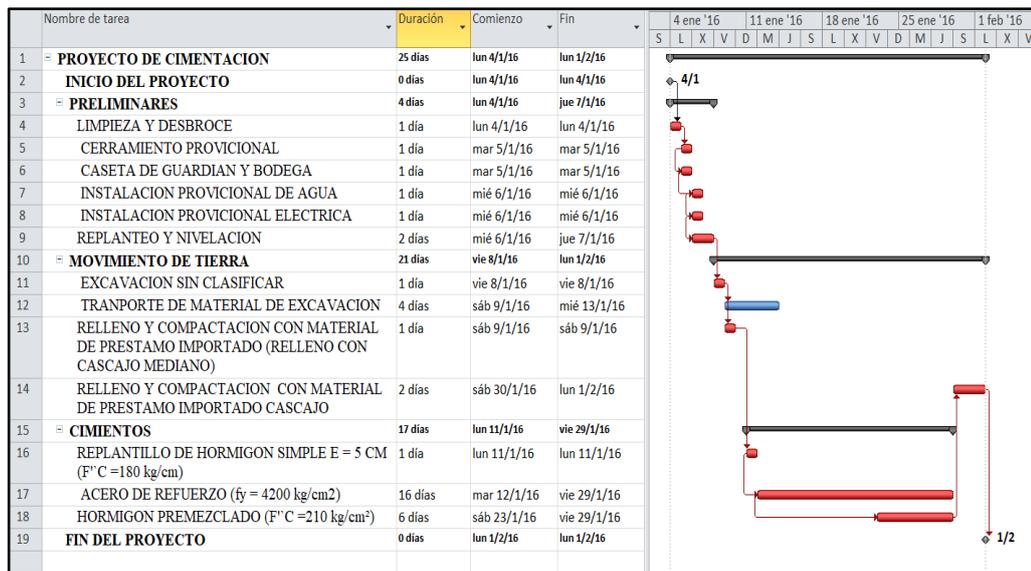
La actividad de transporte de material de excavación no debe acelerarse debido a que no es una actividad que forme parte de la ruta crítica, esto implica que al comprimirla generaría un incremento en el costo mas no contribuiría con el objetivo de comprimir al cronograma.

**Tabla 1** Tabla crashing de proyecto de cimentación

Nº	Actividades	RC	Predecesoras	Tiempo Normal (Dias)	Tiempo Acelerado (Dias)	Costo Normal (\$)	Costo Acelerado (\$)
A	Limpieza y desbroce	si	Inicio	3	1	810.00	1,140.00
B	Cerramiento provicional	si	A	2	1	529.50	764.40
C	Caseta de guardian y bodega	si	Bcc	2	1	890.28	1,200.00
D	Instalación provicional de agua	si	C	1	1	361.57	356.65
E	Instalación provicional eléctrica	si	Dcc	1	1	489.66	217.28
F	Trazado y replanteo	si	Ecc	3	2	950.00	1,070.00
G	excavación sin clasificar	si	Fcc+3	4	1	1,706.60	1,891.75
H	Transporte de material de excavación a maquina	no	Gcc	4	5	3,155.60	3,155.60
K	Relleno y compactación con material de prestamo importado (Cascajo mediano)	si	G	1	1	2,980.00	2,980.00
L	Relleno y compactación con material deprestamo importado cascajo	si	Ñ	2	2	7,377.81	7,377.81
M	Replanteo de hormigón simple E= 5cm (F`c=180 kg/cm)	si	K	1	1	855.67	855.67
N	Acero de refuerzo	si	M	16	16	16,573.72	16,573.72
Ñ	Hormigón premezclado (F`c= 280 kg/cm2)	si	N	6	6	14,675.28	14,675.28
						<b>\$ 51,355.69</b>	<b>\$ 52,258.16</b>

**Fuente:** Naomy Jumey Chum Saavedra

A continuación, se aplica fast tracking a las actividades de acero de refuerzo y hormigón premezclado estableciendo que se ejecuten en forma parcialmente paralela como se podrá apreciar en la siguiente imagen la actividad del hormigón se empezará a ejecutar cuando hayan transcurrido diez días del inicio del armado y colocación del acero, cabe recalcar que esta acción no incrementará costos en el presupuesto.



**Figura 51** Proyecto de cimentación - nueva ruta crítica

**Fuente:** Naomy Jumej Chum Saavedra

Como conclusión se logra cumplir con el objetivo de este proyecto de cimentación al comprimirlo el cronograma de cimentación de 36 a 25 días laborables, incrementó en su financiamiento de 51,355.69 dólares a 52,258.16 dólares.

## CONCLUSIONES

- Mediante la información recaudada de diversas bibliografías y entrevistas realizadas a expertos en la gestión de proyectos se concluyó que, las técnicas utilizadas para los retrasos de cronogramas se pueden subdividir en dos categorías, técnicas sencillas y técnicas drásticas.
- Las técnicas drásticas, es decir, intensificación (crashing) y ejecución rápida (fast tracking) resultaron ser las más conocidas y las más ejecutadas en la gestión de proyectos, esto se debe a que comprimen y aceleran rápidamente las actividades de un cronograma de obra.
- La técnica de intensificación (crashing) actúa incrementando recursos a las actividades del cronograma con la finalidad de acortar el tiempo de duración del proyecto, mientras que la ejecución rápida (fast tracking) trabaja básicamente hallando la forma de optimizar el tiempo generando que las actividades en lo posible trabajen en forma paralela o superpuestas.
- Aplicando las técnicas de compresión se redujo la duración del cronograma de una cimentación que originalmente tenía un tiempo de ejecución de 36 días y un presupuesto total de 51,355.69 dólares, mediante la técnica crashing su duración se redujo de 36 a 30 días y su costo incremento a un total de 52,258.16 dólares, utilizando la técnica de fast tracking el cronograma se redujo de 30 a 25 días sin presentar incrementos en el presupuesto del mismo.
- Al realizar una comparación entre las técnicas de intensificación (crashing) y la ejecución rápida (fast tracking), se pudo concluir que al momento de contrarrestar un retraso considerable en un proyecto se debe utilizar como

primera opción la técnica del fast tracking, debido a que aunque se aumentan los riesgos del proyecto, esta técnica se diferencia de la técnica crashing al no incrementar excesivamente recursos en sus actividades, y como consecuencia no existirá un incremento drástico en el financiamiento del mismo, es decir, el fast tracking resulta una técnica más económica para acelerar al cronograma lo cual resulta de gran importancia para cualquier tipo de proyecto.

## RECOMENDACIONES

- Al emplear la técnica de crashing para comprimir al cronograma de cimentación el principal riesgo al que se sometió el proyecto es que su financiamiento se vio incrementado, por lo que se tomó la decisión de además utilizar la técnica de fast tracking.
- Al ejecutar la técnica de fast tracking al proyecto de cimentación el principal riesgo al que se somete la obra es que no se alcance con el rendimiento esperado en cada una de las tareas, esto se debe a que nuestra red se vuelve más compleja y existe más personal trabajando en diferentes actividades al mismo tiempo, es por esta razón que se tornará indispensable que el gerente del proyecto establezca una mayor fiscalización, coordinación y comunicación en cada una de las tareas del mismo.
- Al ejecutar la técnica crashing es recomendable ir reduciendo al cronograma de día en día o de semana en semana, dándole prioridad a las actividades críticas que generen un menor incremento para el presupuesto, ya que de esta forma se podrá controlando la relación costo-tiempo del proyecto, y según el incremento total de los costos se determinará si es conveniente o no ejecutar la técnica de crashing.
- Las técnicas sencillas utilizadas para reajustar a un cronograma que se encuentra retrasado son empleadas regularmente cuando el proyecto está bien avanzado y se necesita únicamente un impulso para terminar a tiempo con la obra, mientras que las técnicas drásticas se utilizan cuando son proyectos grandes y los retrasos en el cronograma se presentan en los inicios de su ejecución.

## REFERENCIAS

- Bendimez, C. E. (2008). Administracion del tiempo., (pág. 93).
- Gido, J., & Clements, J. (2012). Administración exitosa de proyectos . Mexico D. F: Cengage Learning.
- Mattos, A. D., & Valderrama, F. (2014). Metodos de planificación y control de obras. Barcelona: Reverté, S.A.
- PMI. (2013). Guia de los fundamentos para la direccion de proyectos (Guía de PMBOK) (Quinta edición ed.). Atlanta: Book Editor.
- Project management software. (2002). Programación con microsoft project standard.
- SERCOP, S. n. (2018). Ley organica del sistema nacional de contratacion pública (LOSNCP).
- Siles, R., & Mondelo , E. (2016). Gestion de proyectos de desarrollo .
- TenStep. (2012). Proceso de dirección de proyectos.

## **ANEXOS**

### **¿Nombre de la persona a entrevistar y su perfil profesional?**

Ingeniero Civil José Virgilio Usca Sanga, ha trabajado elaborando presupuestos y cronogramas de obra, ha sido fiscalizador en proyectos tales como construcción de losas de estructura metálicas en solca y en la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR, donde actualmente se encuentra laborando.

### **¿Ha formado parte de alguna obra que haya sufrido un retraso considerable en su cronograma?**

Si, en la planta de tratamiento de aguas residuales las esclusas.

### **¿De qué se trataba la obra?**

El objetivo del proyecto es alcanzar el acceso universal sostenible a los servicios de alcantarillado sanitario de la cuenca las Esclusas, al sur de Guayaquil, con lo cual, además de mejorar las condiciones de la población beneficiaria del proyecto, mejorarán las condiciones ambientales y ecológicas de los cuerpos de agua de la ciudad de Guayaquil (Río Guayas y Estuario del Salado).

### **¿Cuénteme por favor sobre el retraso que existía y a que se debía?**

- La falta de estudios de suelos para conocer la estratificación del mismo ocasionó en sectores que los pilotes de 36 m, llegaron al rechazo entre 28-32.
- El hormigonado en estructuras de gran envergadura, el cual no se podría realizar de manera tradicional, se procedió a adquirir una tecnología para el mismo.

- En el caso de las columnas de grava, los martillos vibratorios no llegaron en el tiempo estimado.
- Las modificaciones de los planos no fueron realizadas a tiempo.
- Mala coordinación entre el la contratista y los sub contratistas.

### **¿Qué técnica fue aplicada para comprimir y acelerar el cronograma?**

Se redujo la duración de ciertas tareas incrementando equipos de obra, por ejemplo, los pilotes se procedieron a hincar con dos martillos para de esta forma acortar la duración de la tarea, en el caso de la estructura se procedió a adquirir un encofrado deslizante optimizando de esta manera el hormigonado, este encofrado se utilizó para varias estructuras de las mismas características con la finalidad de acortar en forma significativa el tiempo de la actividad.

**¿Nombre de la persona a entrevistar y su perfil profesional?**

Ingeniero civil Patricio Fernando Coronel Grijalva, 32 años de experiencia, ha trabajado como fiscalizador en el departamento de avalúos y catastros en el Ilustre Municipio de Quito, tiene experiencia como ingeniero responsable de obras en empresas constructoras como: Constructora del Litoral (Colisa), Compañía Hidalgo e Hidalgo (H-H Constructores), también ha ocupado el cargo de ingeniero superintendente en empresas como Compañía Verdu S. A y Herdoiza Crespo (HCC construcciones).

**¿Ha formado parte de alguna obra que haya sufrido un retraso considerable en su cronograma?**

Si he formado parte de obras con retrasos en sus cronogramas, es muy común que un proyecto de construcción se vea retrasado por diferentes factores.

**¿De qué se trataba la obra?**

Construcción de una avenida en la ciudad de Floridablanca - Santander Colombia.

**¿Cuénteme por favor sobre el retraso que existía y a que se debía?**

- El retraso se originó debido a que la empresa encargada de la obra disponía de maquinaria propia la cual presentó fallas, por lo que se procedió a alquilar maquinaria y se realizaron varios sub-contratos de obra, lo cual descuadro totalmente el cronograma del proyecto.
- Era necesario cumplir con el contrato en la fecha establecida pues las multas eran exageradas.

### **¿Qué técnica fue aplicada para comprimir y acelerar el cronograma?**

Para poder cumplir con la obra en la fecha establecida se procedió a alquilar el doble de maquinarias, contratar más personal, más herramientas de trabajo y trabajar horas extras, básicamente para comprimir al cronograma acelerando las actividades de este proyecto se utilizaron las técnicas de Crashing, Fast tracking y horas extras.

**¿Nombre de la persona a entrevistar y perfil profesional?**

Ingeniero civil Marco Suárez Rodríguez, docente titular de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, ha realizado cursos y seminarios relacionados a gerencia de proyectos y costos, ha trabajado como contratista y fiscalizador en varios proyectos públicos y privados tales como construcción de edificios, industrias, parques, pasos a desnivel, vías, obras sanitarias, obras hidráulicas, obras portuarias y regeneración urbana.

**¿Ha formado parte de alguna obra que haya sufrido un retraso considerable en su cronograma?**

Claro que sí, por lo general siempre hay una situación imprevista que origine un retraso de la obra.

**¿De qué se trataba la obra?**

La construcción del Centro de Audición y Lenguaje de la M.I. Municipalidad de Guayaquil, una obra tipo edificación.

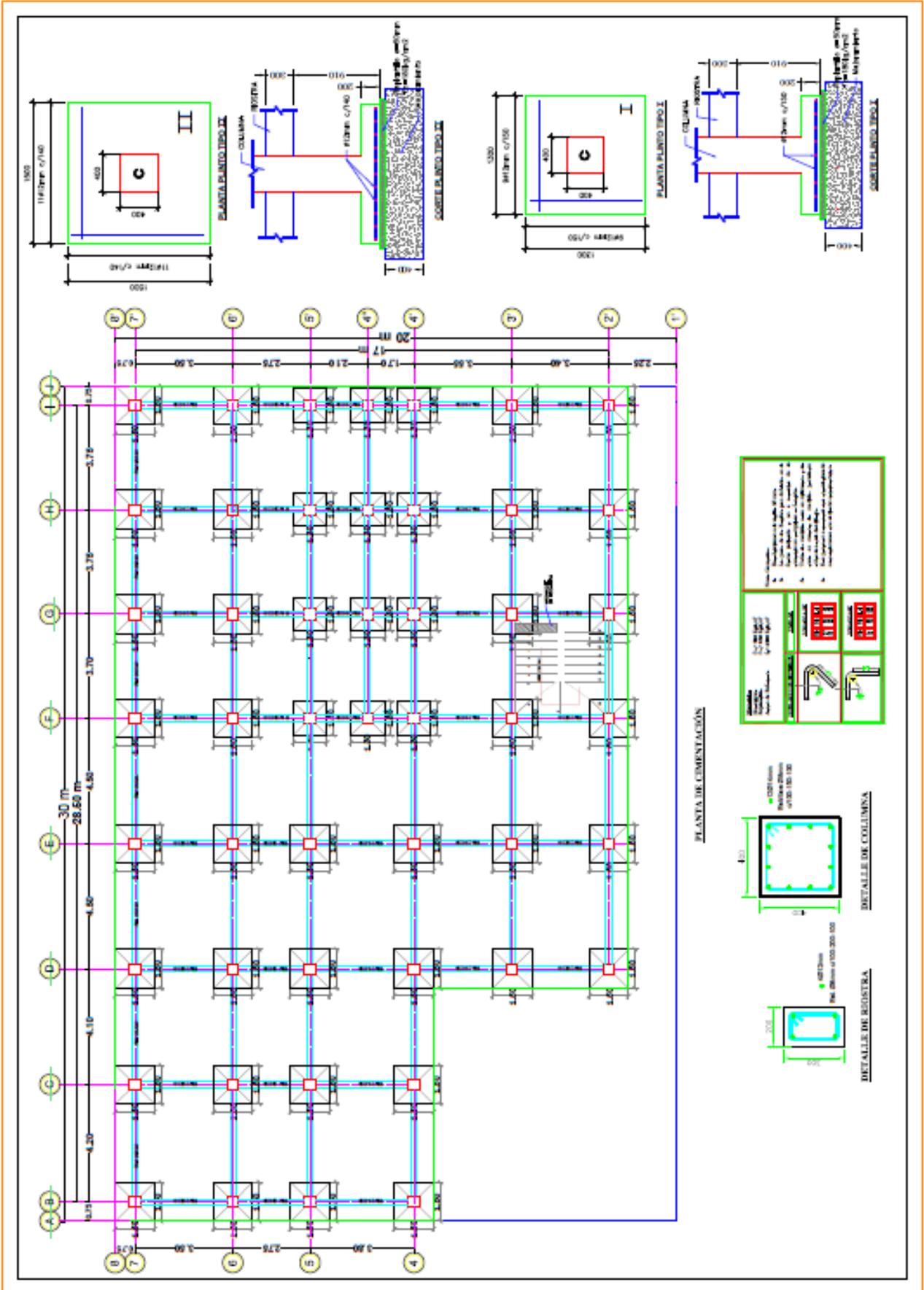
**¿Cuénteme por favor sobre el retraso que existía y a que se debía?**

Fue una obra muy especial, que nació con un plazo de ejecución irreal (120 días) propuesto por la entidad contratante, ya que era un proyecto que había que hacerlo en tres etapas, éste empezaba con la primera, y a partir de ahí, se iniciaba la siguiente pero siempre y cuando haya finalizado la etapa anterior y así hasta su culminación. Esta circunstancia no fue contemplada por la contratante ya que había concebido hacer las etapas simultáneamente y obviamente la obra no pudo ser concluida en su plazo original.

Una vez que se demostró técnicamente, tanto al contratante como al fiscalizador, la imposibilidad de cumplir con el plazo contractual, se solicitó una prórroga de 120 días (el doble del tiempo) y se tuvo que realizar una reprogramación de la obra, ajustándose a la realidad que necesitaba este proyecto. Luego de lo indicado la obra se pudo concluir con normalidad.

**¿Qué técnica fue aplicada para comprimir y acelerar el cronograma?**

En este caso se aceleró al cronograma, en función de realizar ciertas actividades simultáneas dentro de lo posible entre etapas. Este análisis fue tomado en cuenta al momento en que se realizó la reprogramación, ya que, por pedido de la contratante, ellos no quisieron que el período total exceda a 240 días, cuando quizás hubiese sido factible que este tiempo sea mayor.





## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Chum Saavedra Naomy Jumey, con C.C: 1717954141 autora del trabajo de titulación: **Determinación de técnicas de compresión y aceleración óptimas para proyectos de construcción que tienen retrasos en sus cronogramas**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **10 de marzo** de 2021

f. \_\_\_\_\_

Nombre: **Chum Saavedra Naomy Jumey**

C.C: **1717954141**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Determinación de técnicas de compresión y aceleración óptimas para proyectos de construcción que tienen retrasos en sus cronogramas.		
<b>AUTOR(ES)</b>	Naomy Jumey Chum Saavedra		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Jorge Vera Armijos, MSc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniería civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	10 de marzo de 2021	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	65
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Cronograma, técnicas para acelerar actividades, costos.		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Proyecto de obra civil, ejecución de la obra, cronograma, tiempos establecidos, técnicas, retraso.		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>	<p>El proyecto de obra civil es un documento que consiste en cumplir una serie de requisitos y etapas que deben de ser llevadas a cabo para poder culminar exitosamente dicho proyecto y proceder con la construcción del mismo, un desafío en la ejecución de las obras civiles es poder cumplir con los tiempos establecidos para el proyecto, y de esta forma entregarla en el plazo determinado por el cliente, Existen varias problemáticas que se pueden presentar al realizar y al ejecutar un proyecto de construcción, este tema de investigación tendrá como finalidad enunciar las diferentes técnicas que se utilizan en la gestión de los proyectos de obras civiles cuando existe algún tipo de retraso en sus cronogramas, es decir se propondrán técnicas las cuales se utilizarán teniendo en cuenta la magnitud del retraso mediante la aplicación de las mismas en un cronograma y de esta forma se determinará cuáles son las más eficientes.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-996652034	E-mail: naomychum.1996@gmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre: Clara Glas Cevallos</b>		
	<b>Teléfono:</b> +593-4-2206956		
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			