



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN EFICAZ DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
INCORPORANDO LOS CONCEPTOS Y PRÁCTICAS DEL PMBOK**

Sergio Iván de la Roca Lemus

Asesorado por el Ing. Jorge Mario García Bautista

Guatemala, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN EFICAZ DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN
INCORPORANDO LOS CONCEPTOS Y PRÁCTICAS DEL PMBOK**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO IVÁN DE LA ROCA LEMUS

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO GARCÍA BAUTISTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. Jose Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alberto Lam Lan
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordoñez Morales
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN EFICAZ DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN INCORPORANDO LOS CONCEPTOS Y PRÁCTICAS DEL PMBOK

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 29 de marzo de 2017.

Sergio Iván de la Roca Lemus

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por el don de la vida, por la gente que ha puesto en el camino, y por la gracia de poder poner la última piedra en este emprendimiento.

Mis hijos

La alegría de mis días y mi mayor motivación: Mateo y Julián de la Roca Monroy.

AGRADECIMIENTOS A:

**Jorge Mario García
Bautista**

Por su amistad durante los años en la carrera y por la asesoría durante la elaboración de este trabajo.

**Facultad de Ingeniería de
la Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por el conocimiento brindado sin reservas a través de catedráticos que marcaron huella en mi carrera profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. PROYECTO	1
1.1. ¿Qué es un proyecto?	1
1.2. Ciclo de vida de un proyecto	1
1.2.1. Características del ciclo de vida del proyecto	2
1.2.2. Fases de un proyecto	4
1.3. Gestión de proyectos.....	5
1.3.1. El gerente del proyecto.....	6
1.3.2. Equipo del proyecto	8
2. PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN	11
2.1. ¿Qué es un proyecto de construcción?	11
2.1.1. Tipos de proyectos de construcción	11
2.1.2. Entorno del proyecto de construcción.....	12
2.1.2.1. Factores económicos.....	12
2.1.2.2. Factores financieros	13
2.1.2.3. Factores de ubicación.....	14
2.1.2.4. Factores sociales.....	15
2.1.2.5. Factores ambientales	18

2.2.	Ciclo de vida de un proyecto de construcción	18
2.2.1.	Fases de un proyecto de construcción	20
2.3.	Gestión de proyectos en la industria de la construcción	21
2.4.	Equipo del proyecto de construcción.....	21
2.4.1.	Propietario	21
2.4.2.	Gerente del proyecto de construcción	21
2.4.3.	Diseñador	22
2.4.4.	Contratista general	22
2.4.5.	Especialistas	22
2.4.6.	Superintendente	23
2.5.	Avances tecnológicos en la gestión de proyectos de construcción	24
2.5.1.	Herramientas y sistemas	24
2.5.2.	Prefabricación y modularización.....	27
2.5.3.	Gestión <i>lean</i>	29
3.	CONCEPTOS DE LA GUÍA DEL PMBOK	33
3.1.	Propósito de la guía del PMBOK.....	33
3.2.	Grupos de procesos	33
3.2.1.	Grupo de procesos de inicio.....	36
3.2.2.	Grupo de procesos de planificación	36
3.2.3.	Grupo de procesos de ejecución.....	36
3.2.4.	Grupo de procesos de monitoreo y control.....	37
3.2.5.	Grupo de procesos de cierre	37
3.3.	Áreas de conocimiento.....	38
3.4.	Extensión para la construcción del PMBOK.....	41
4.	EL MÉTODO DE RUTA CRÍTICA (CPM).....	45

5.	METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS	49
6.	CONCEPCIÓN Y DISEÑO CON IMPLEMENTACIÓN DEL PMBOK	51
6.1.	Definición de necesidad.....	52
6.1.1.	Problema y propósito.....	52
6.1.2.	Interesados	55
6.1.3.	Objetivos y requerimientos	58
6.2.	Evaluación de alternativas.....	63
6.2.1.	Selección de estrategia	64
6.2.2.	Riesgos de alto nivel.....	66
6.3.	Propuesta preliminar	68
6.3.1.	Diseño esquemático	69
6.3.2.	Presupuesto preliminar	70
6.3.3.	Cronograma preliminar	72
6.3.4.	Aprobación del propietario.....	72
6.4.	Diseño final.....	75
6.4.1.	Planos constructivos.....	75
6.4.2.	Especificaciones	78
6.4.2.1.	Exclusiones.....	82
6.4.2.2.	Restricciones	84
6.4.2.3.	Supuestos.....	85
7.	PLANIFICACIÓN CON IMPLEMENTACIÓN DEL PMBOK.....	87
7.1.	Identificación de actividades	88
7.1.1.	Estructura de desglose del trabajo	88
7.1.1.1.	Consideraciones al crear una EDT	89
7.1.1.2.	Nivel de detalle	94
7.1.2.	Paquetes de trabajo.....	94
7.2.	Evaluación de recursos y riesgos	96

7.2.1.	Evaluación y asignación de recursos	96
7.2.1.1.	Tipos de recursos	96
7.2.1.2.	Asignación de recursos a las actividades	98
7.2.2.	Evaluación de riesgos y planes de acción	99
7.2.2.1.	Identificación de riesgos	100
7.2.2.2.	Planificación de las respuestas a los riesgos	101
7.2.2.3.	Planificación de la salud y seguridad ocupacional	103
7.2.2.3.1.	Salud	105
7.2.2.3.2.	Seguridad ocupacional	105
7.2.2.3.3.	Seguridad del sitio	106
7.2.2.3.4.	Medio ambiente	107
7.2.3.	Red del proyecto	109
7.2.3.1.	Diagramación por precedencia	109
7.2.3.2.	Dependencias del diagrama	111
7.3.	Programación y presupuesto con implementación del PMBOK	113
7.3.1.	Cronograma del proyecto	116
7.3.1.1.	Estimación de la duración de las actividades	116
7.3.1.2.	Identificación de la ruta crítica	119
7.3.1.3.	Reducción de la duración del proyecto	121
7.3.2.	Presupuesto del proyecto	126
7.3.2.1.	Estimación de los costos	126

8.	GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN CON IMPLEMENTACIÓN DEL PMBOK	129
8.1.	Ejecución de los trabajos.....	130
8.1.1.	Gestión de los recursos	130
8.1.1.1.	Tiempo.....	130
8.1.1.2.	Dinero	131
8.1.1.3.	Mano de obra y equipo	132
8.1.1.4.	Materiales	133
8.1.1.5.	Subcontratistas	133
8.1.2.	Gestión de la calidad	134
8.1.3.	Gestión de cambios	136
8.1.4.	Gestión de riesgos.....	137
8.1.5.	Gestión de conflictos	138
8.1.6.	Gestión de los interesados	139
8.1.6.1.	Habilidades interpersonales.....	140
8.1.6.2.	Habilidades de gestión	140
8.2.	Control del avance.....	141
8.2.1.	Medición del progreso	141
8.2.1.1.	Variaciones	148
8.2.1.2.	Indicadores de eficiencia	149
8.2.1.3.	Pronósticos	150
8.2.2.	Informe del desempeño	152
8.2.3.	Toma de decisiones.....	154
8.2.3.1.	Reuniones.....	154
9.	PUESTA EN MARCHA CON IMPLEMENTACIÓN DEL PMBOK.....	157
9.1.	Entrega de la obra	158
9.1.1.	Inspección final	158
9.1.2.	Acta de finalización (finiquito)	160

9.1.3.	Planos de registro	162
9.2.	Cierre del proyecto	162
9.2.1.	Evaluación postproyecto	162
9.2.2.	Transferencia del conocimiento.....	163
CONCLUSIONES.....		165
RECOMENDACIONES		167
BIBLIOGRAFÍA.....		171
APÉNDICES.....		177

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Metodología para la dirección del proyecto de construcción.....	XVII
2.	Costo y dotación de personal a través del ciclo de vida.....	2
3.	Impacto de las variables en función de tiempo del proyecto	3
4.	Ejemplo de un proyecto con superposición de fases	5
5.	La triple restricción de un proyecto	6
6.	Roles principales de liderazgo en proyectos	8
7.	Construcción vertical y construcción horizontal.....	12
8.	Aporte de la construcción al PIB en Guatemala	13
9.	Créditos al sector construcción (millones de Quetzales).....	14
10.	Página principal GUATECOMPRAS.gt	16
11.	Edificio Trasciende zona 6, primer proyecto MUVI	17
12.	Perspectivas para el ciclo de vida del proyecto.....	19
13.	Fases, actividades y entregables a través del ciclo de vida	20
14.	Dron utilizado en inspección aérea del sitio	25
15.	Uso de equipo de nivelación en instalación de cielo falso.....	26
16.	Revisión de planos en dispositivos móviles en obra	27
17.	Formaleta de aluminio en construcción de vivienda.....	28
18.	Bosquejo de instalación de losas pretensadas	29
19.	Equipo de un proyecto de construcción en <i>pull planning</i>	31
20.	Grupos de procesos de la dirección de proyectos	34
21.	Interacciones entre los grupos de procesos de un proyecto	35
22.	Mapeo de los grupos de procesos y áreas de conocimiento.....	43
23.	Ejemplo del método de ruta crítica	48

24.	Metodología para la gestión de proyectos de construcción	49
25.	Procesos de la fase de concepción y diseño	51
26.	Cabina de operación de báscula antes del proyecto	54
27.	Portada e interior de la NSE 3	60
28.	Ciclo de la elaboración de la propuesta	68
29.	Diseño esquemático de propuesta.....	69
30.	Cronograma general del proyecto.....	72
31.	Planta arquitectónica del proyecto	76
32.	Hoja de planos constructivos del proyecto.....	77
33.	Procesos de planificación	87
34.	EDT en forma de lista	89
35.	Esquema gráfico de una EDT	89
36.	EDT proyecto de ejemplo: construcción	91
37.	EDT proyecto de ejemplo: instalaciones, mobiliario y equipo	92
38.	EDT completa en formato de lista.....	93
39.	Listado de riesgos de la construcción (extracto).....	104
40.	Esquema de un diagrama de precedencia	110
41.	Diagrama de precedencia utilizando notas autoadheribles.....	111
42.	Tipos de relaciones del diagrama de precedencia.....	112
43.	Diagrama de precedencia del proyecto de ejemplo	113
44.	Traslado de la red del proyecto a software de planificación	115
45.	Asignación de duración a las actividades del proyecto.....	118
46.	Identificación de ruta crítica del proyecto de ejemplo	120
47.	Técnicas para la reducción de tiempos.....	122
48.	Reducción de la duración al cronograma.....	123
49.	Línea base del cronograma	125
50.	Integración ascendente de costos	128
51.	Procesos de la fase de construcción	129
52.	Ciclo de gestión del tiempo.....	131

53.	Ciclo de gestión de la calidad.....	135
54.	Detalle de cambio realizado en planos constructivos.....	136
55.	Cronograma con avance ideal a la fecha de corte	143
56.	Cronograma real del proyecto a la fecha de corte	145
57.	Cronograma corregido a la fecha de corte	147
58.	Informe de estado del proyecto de ejemplo	153
59.	Procesos de la puesta en marcha del proyecto	157
60.	Corrección de deficiencia: sellado de espacio abierto	160
61.	Imágenes del desarrollo de la obra constructiva	161

TABLAS

I.	Diferencias entre gerente de proyecto y superintendente	23
II.	Grupos de procesos y áreas de conocimiento	40
III.	Antecedentes del caso de ejemplo	53
IV.	Declaración del problema.....	54
V.	Declaración del propósito.....	55
VI.	Registro de interesados	57
VII.	Objetivos del proyecto de ejemplo	59
VIII.	Requerimientos para cada objetivo	61
IX.	Matriz de selección: ponderación de riesgos y alternativas	65
X.	Evaluación de riesgos de alto nivel	67
XI.	Presupuesto preliminar del proyecto	71
XII.	Transcripción del documento de inicio del proyecto.....	73
XIII.	Especificaciones para los objetivos y requerimientos	78
XIV.	Exclusiones del proyecto.....	83
XV.	Restricciones del proyecto	84
XVI.	Supuestos del proyecto.....	86
XVII.	Plantilla para definición del paquete de trabajo.....	95

XVIII.	Definición del paquete de trabajo y sus actividades	95
XIX.	Asignación de recursos en el paquete de trabajo	98
XX.	Inclusión de los riesgos asociados al paquete de trabajo	101
XXI.	Inclusión de los riesgos asociados al paquete de trabajo	103
XXII.	Componente completo del diccionario de la EDT	108
XXIII.	Ofertas para los paquetes de trabajo del proyecto	127
XXIV.	Plantilla para registro de no-conformidades.....	134
XXV.	Registro de órdenes de cambio	137
XXVI.	Parámetros ideales del EVM a la fecha de corte	144
XXVII.	Parámetros reales del EVM a la fecha de corte.....	144
XXVIII.	Parámetros corregidos del EVM a la fecha de corte.....	146
XXIX.	Variaciones y desviaciones a la fecha de corte	149
XXX.	Indicadores de eficiencia a la fecha de corte	150
XXXI.	Pronósticos para el proyecto en la fecha de evaluación	151
XXXII.	Plantilla para agenda de reunión y registro de decisiones.....	155
XXXIII.	Registro de deficiencias.....	159
XXXIV.	Registro de lecciones aprendidas	164

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AC	Costo real (<i>actual cost</i>)
BAC	Presupuesto hasta la conclusión (<i>budget at completion</i>)
CG	Contratista general
CPI	Índice de desempeño del costo (<i>cost performance index</i>)
CV	Variación del costo (<i>cost variation</i>)
EAC	Estimación a la conclusión (<i>estimated at completion</i>)
EF	Finalización temprana de actividad (<i>early finish</i>)
ES	Inicio temprano de actividad (<i>early start</i>)
ETC	Estimado hasta la conclusión (<i>estimated to completion</i>)
EV	Valor ganado (<i>earned value</i>)
LF	Finalización tardía de actividad (<i>late finish</i>)
LS	Inicio tardío de actividad (<i>late start</i>)
m²	Metro cuadrado
PV	Valor planificado (<i>planned value</i>)
SPI	Índice de desempeño del cronograma (<i>schedule performance index</i>)
SV	Variación del cronograma (<i>schedule variation</i>)
TCPI	Índice de desempeño del trabajo por completar (<i>to-complete performance index</i>)

GLOSARIO

<i>As-built</i>	Como fue construido. Se utiliza para referirse al juego de planos de registro.
<i>Backward pass</i>	Cálculos realizados sobre el diagrama de red para obtener tiempos tardíos de inicio y finalización de las actividades partiendo de la última actividad de la red.
BIM	Modelado por integración de la información (<i>building information modeling</i>).
CPM	Método de ruta crítica (<i>critical path method</i>).
<i>Construction extension</i>	Extensión para la construcción del PMBOK.
<i>Crashing</i>	Técnica para el acortamiento de la duración del proyecto que consiste en la asignación de recursos adicionales.
<i>Days</i>	Días.
EDT	Estructura de desglose del trabajo.
EPP	Equipo de protección personal.
EVM	Gestión del valor ganado (<i>earned value management</i>).

<i>Fast tracking</i>	Técnica para el acortamiento de la duración del proyecto que consiste en el traslape de actividades.
<i>Forward pass</i>	Cálculos realizados sobre el diagrama de red para obtener tiempos tempranos de inicio y finalización de las actividades partiendo de la primera actividad de la red.
GC	Gerente de construcción.
HSSE	Salud, seguridad, protección y medio ambiente (<i>health safety, security and environmental</i>).
<i>Lean</i>	Modelo de gestión que se enfoca en minimizar las pérdidas de los sistemas al mismo tiempo que maximiza la creación de valor para el cliente final.
Microsoft Project	Software de administración de proyectos y programas de proyectos desarrollado y comercializado por Microsoft.
MSDS	Hoja de datos de seguridad del material (<i>material safety data sheet</i>).
OSHA	Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration).
PIB	Producto interno bruto.

PMBOK	Libro de conocimiento de la gestión de proyectos (<i>project management book of knowledge</i>).
PMI	Organización que asocia a profesionales relacionados con la gestión de proyectos (Project Management Institute).
PPS	Plan de salud y seguridad.
RFP	Solicitud de propuesta (<i>request for proposal</i>).
<i>Stakeholder</i>	Persona o entidad con interés en el proyecto.
Wks.	Abreviatura de <i>weeks</i> : semanas.

RESUMEN

Este trabajo de graduación presenta una metodología para la gestión eficaz de proyectos de construcción desde la perspectiva del gerente de proyectos; incorpora las buenas prácticas descritas en la guía del PMBOK en su quinta edición. La figura 1 esquematiza la propuesta procesos de dirección agrupados en las cuatro fases que componen el ciclo de vida de un proyecto de construcción.

Figura 1. **Metodología para la dirección del proyecto de construcción**



Fuente: elaboración propia.

OBJETIVOS

General

Proponer una metodología para la gestión eficaz de proyectos de construcción que incorpore los conceptos y buenas prácticas descritos en la Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (guía del PMBOK) quinta edición, como referente internacional en el ámbito de gestión de proyectos.

Específicos

1. Definir qué es un proyecto y las etapas que componen su ciclo de vida.
2. Exponer las particularidades de un proyecto de construcción dentro del marco de gestión de proyectos.
3. Introducir los conceptos y buenas prácticas contenidos en la guía del PMBOK, quinta edición, y en la extensión para la construcción de la guía PMBOK.
4. Presentar el método de ruta crítica (CPM, por sus siglas en inglés) y desarrollar su implementación en la gestión de proyectos de construcción.
5. Estructurar en fases y procesos la gestión de un proyecto de construcción a través de su ciclo de vida.

6. Facilitar la implementación de los procesos mediante la inclusión de formatos y plantillas de ejemplo.

INTRODUCCIÓN

La gestión eficaz de proyectos es fundamental para el éxito de toda empresa de construcción. Esta gestión inicia desde la identificación de una necesidad por parte del propietario hasta la entrega de la obra; abarca una serie de etapas que requieren de la participación de un equipo multidisciplinario y de los esfuerzos de dirección por parte de un gerente de proyecto.

Este trabajo propone una metodología para la gestión de proyectos de construcción que considera sus particularidades y su naturaleza compleja. La propuesta busca resumir y consolidar las actividades requeridas para la dirección del proyecto desde que este nace como una necesidad u oportunidad hasta que este es cerrado con la entrega de la obra y la evaluación postproyecto.

La metodología está basada principalmente en las buenas prácticas, áreas de conocimiento y grupos de proceso, descritas en la guía del PMBOK, quinta edición. Sin embargo, se incorpora contenido de otras fuentes bibliográficas y de la experiencia propia para enriquecer el contenido del trabajo y garantizar que la metodología sea aplicable; la inclusión de un caso de ejemplo que se desarrollará a lo largo de los capítulos es respaldo de lo anterior. Con este trabajo se pretende ofrecer, a quien asuma un rol de gerente de un proyecto de construcción, un referente para el desarrollo y dirección estructurada de su proyecto.

1. PROYECTO

Antes de entrar en detalle en el objetivo principal de este trabajo, es importante la familiarización del lector con algunas definiciones y conceptos clave en la dirección de proyectos.

1.1. ¿Qué es un proyecto?

El *Project Management Institute*, a través de la Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos, o simplemente guía del PMBOK, en su quinta edición, define proyecto de la siguiente manera:

Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y un final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto¹.

1.2. Ciclo de vida de un proyecto

El ciclo de vida de un proyecto está compuesto por las fases secuenciales por las que este atraviesa desde su inicio hasta su finalización. “Los proyectos varían en tamaño y complejidad”²; sin embargo, en todos los proyectos se puede distinguir la siguiente estructura:

- Inicio del proyecto

¹ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 3.

² *Ibíd.* p. 38.

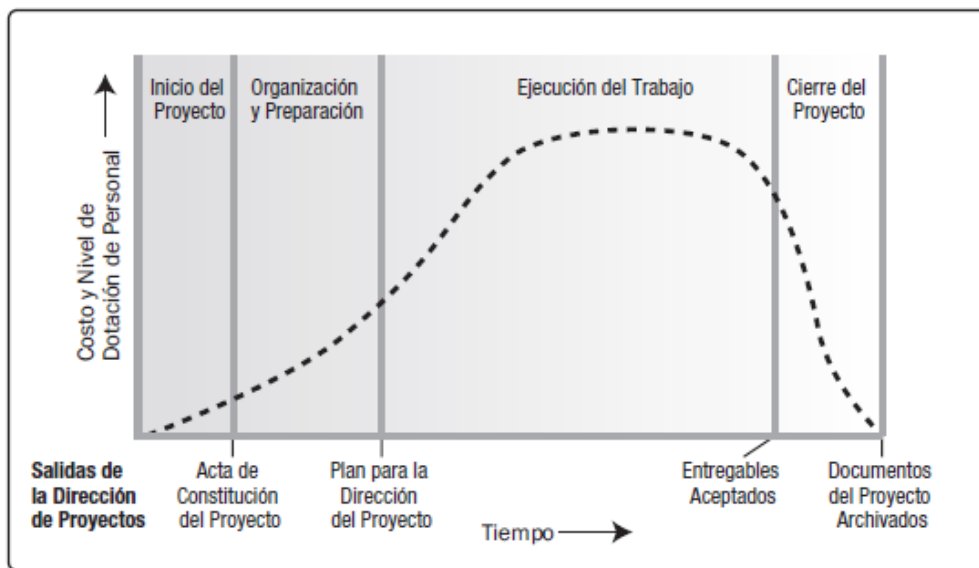
- Organización y preparación
- Ejecución del trabajo
- Cierre del proyecto

1.2.1. Características del ciclo de vida del proyecto

El ciclo de vida general de un proyecto, según se describe en la guía del PMBOK, quinta edición, presenta las siguientes características:

- El nivel de costo y de dotación de personal es bajo durante el inicio del proyecto e incrementa gradualmente hasta alcanzar su valor máximo durante la fase de ejecución, para luego decrecer rápidamente después de aceptados los entregables. Este patrón típico está representado en la figura 2.

Figura 2. Costo y dotación de personal a través del ciclo de vida

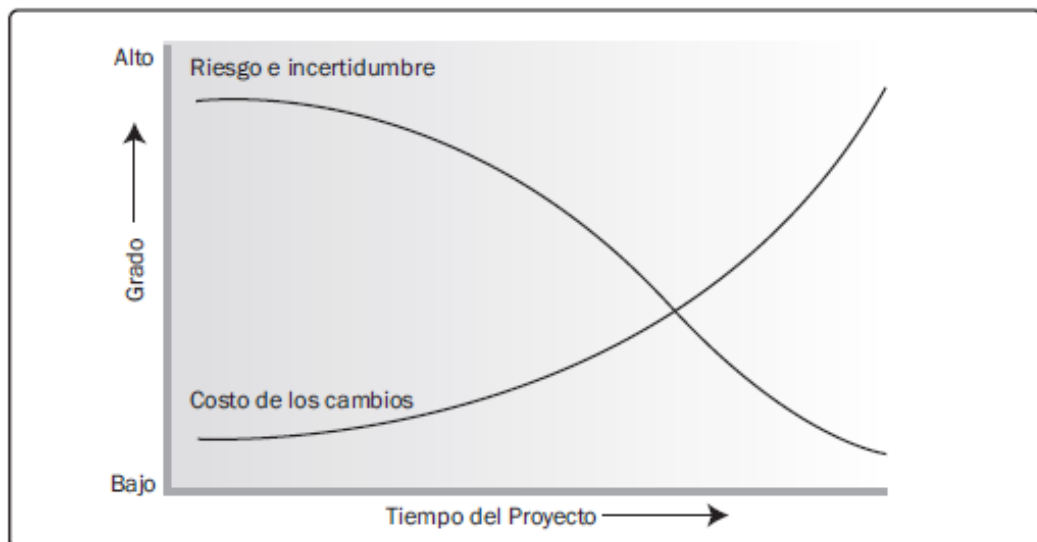


Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 39.

Sin embargo, algunos proyectos podrían requerir gastos significativos en las fases iniciales para asegurarse dotación de recursos; por ejemplo, los gastos en elaboración de planos y trámites durante la obtención de las licencias para construcción.

- Los riesgos y la incertidumbre son mayores al inicio del proyecto y van disminuyendo durante la vida del proyecto a medida que se van tomando decisiones y aceptando los trabajos. Este comportamiento se esquematiza en la figura 3.
- El costo de realizar los cambios es menor al inicio del proyecto y aumenta exponencialmente conforme este avanza. Esta curva se puede apreciar también en la figura 3.

Figura 3. **Impacto de las variables en función de tiempo del proyecto**



Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 40.

1.2.2. Fases de un proyecto

Los proyectos pueden ser divididos en fases. El Project Management Institute define las fases de un proyecto como:

Un conjunto de actividades lógicamente relacionadas que culminan con la finalización de uno o más entregables. Las fases son usadas cuando la naturaleza del trabajo a realizarse es única a una porción del proyecto, y están usualmente asociadas al desarrollo de un entregable específico importante³.

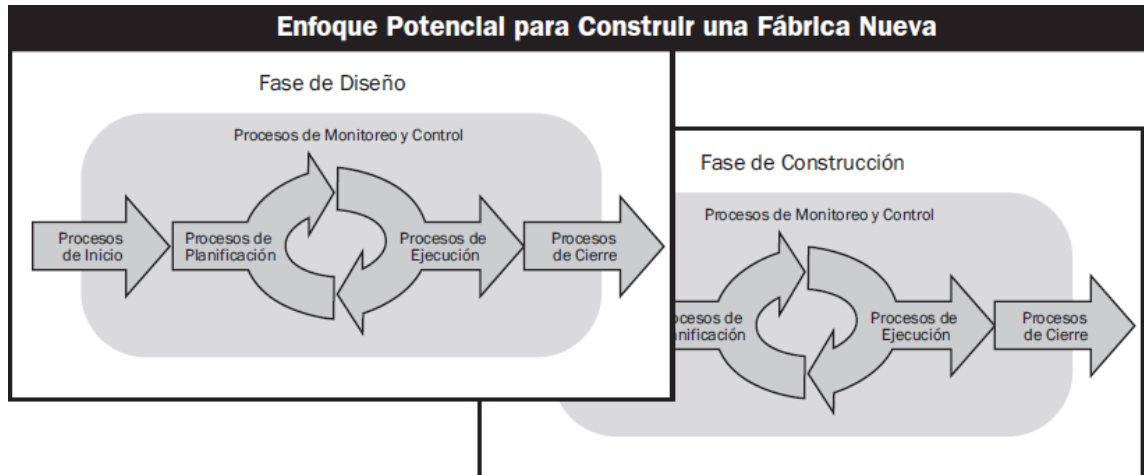
Las fases pueden presentar alguno de los siguientes tipos de relaciones:

- Relación secuencial. En este tipo de relación una fase inicia hasta que se ha concluido en su totalidad la fase anterior.
- Relación de superposición. A diferencia de la relación secuencial, en una relación de superposición una fase puede iniciarse antes de que finalice la fase anterior. Esto permitirá reducir la duración del cronograma cuando se necesite acortar el tiempo de ejecución.

La figura 4 esquematiza una relación de superposición entre las fases de un proyecto de construcción. En esta figura se observa que tanto la fase de diseño como de construcción conforman un ciclo de proyecto completo cada una, pero se traslapan los grupos de procesos de ejecución y cierre del diseño con el grupo de procesos de inicio y planificación de la construcción. Lo que este traslape representa es que la construcción puede iniciarse sin tener concluidos, en su totalidad, los planos o documentos del diseño, permitiendo acelerar la obra.

³ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 41.

Figura 4. **Ejemplo de un proyecto con superposición de fases**



Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 43.

1.3. **Gestión de proyectos**

La gestión de proyectos “es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo”⁴. Dado que los proyectos son de naturaleza temporal, el éxito de un proyecto debe medirse en términos de completar el proyecto dentro de las estipulaciones de lo que se conoce como la triple restricción: tiempo, costo, y calidad.

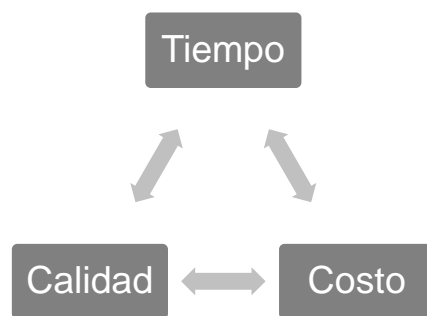
Por triple restricción se entiende que no se puede afectar alguno de estos tres factores sin afectar a alguno de los otros dos. De esta forma, se puede reducir el tiempo del proyecto, pero probablemente la calidad se verá

⁴ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 5.

decrementada o el costo aumentará; se puede reducir el costo, pero la duración del proyecto (tiempo) podría extenderse, entre otros.

La figura 5 esquematiza la triple restricción de todo proyecto.

Figura 5. **La triple restricción de un proyecto**



Fuente: elaboración propia.

1.3.1. **El gerente del proyecto**

“El gerente del proyecto es la persona asignada para liderar al equipo responsable de alcanzar los objetivos del proyecto”⁵. El gerente del proyecto rinde cuentas por el establecimiento de límites realistas y alcanzables para el proyecto y por la ejecución del proyecto dentro de los términos aprobados.

Además de las competencias generales en materia de gestión, la dirección eficaz de un proyecto requiere que el gerente del proyecto cuente con las siguientes competencias⁶:

⁵ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 16.

⁶ *Ibíd.* p. 17.

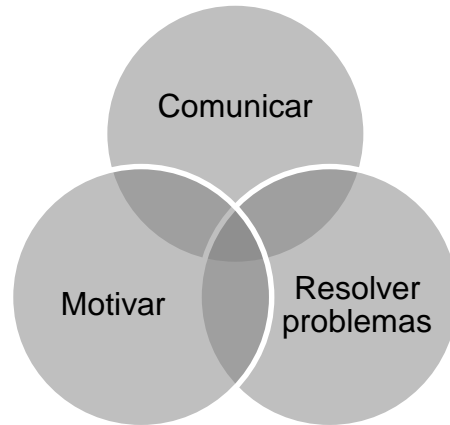
- Conocimiento. Se refiere a lo que el gerente del proyecto sabe sobre dirección de proyectos.
- Desempeño. Se refiere a lo que el gerente del proyecto es capaz de lograr cuando aplica sus conocimientos.
- Eficacia. Se refiere a la manera en que se comporta el gerente del proyecto cuando ejecuta las tareas relacionadas con el proyecto. La eficacia personal abarca actitudes y características básicas de la personalidad y liderazgo que proporcionan la capacidad de guiar al equipo del proyecto mientras se cumplen los objetivos.

El gerente de proyecto tiene también tres roles de liderazgo principales: comunicar, motivar y resolver problemas.

- Comunicar. Consiste en transmitir información y garantizar comprensión.
- Motivar. Consiste en estimular el desempeño de las otras personas a través del compromiso hacia las propias tareas.
- Resolver problemas. Consiste en superar los obstáculos para el éxito. El líder tiene la responsabilidad de proporcionar al equipo las herramientas y técnicas que les permitan resolver problemas, y debe intervenir en la resolución de los problemas que el resto del equipo no pueda resolver.

Es también crucial que el líder asuma la responsabilidad de los actos y decisiones tomadas por su equipo. Debe tener presente que el resultado final descansa sobre sus decisiones y directrices y, por lo tanto, deberá rendir cuentas de los entregables en cada una de las fases del proyecto.

Figura 6. **Roles principales de liderazgo en proyectos**



Fuente: elaboración propia.

1.3.2. Equipo del proyecto

El equipo del proyecto incluye al gerente del proyecto y al grupo de individuos con conocimientos y habilidades específicas que actúan en conjunto en la realización del trabajo del proyecto para alcanzar sus objetivos. Se identifican, dentro del equipo del proyecto, roles tales como⁷:

- Personal de dirección de proyectos. Son los miembros del equipo que realizan actividades de dirección tales como elaboración del cronograma, preparación del presupuesto, presentación de informes, gestión de riesgos y apoyo administrativo.
- Personal del proyecto. Son los miembros del equipo que llevan a cabo el trabajo de crear los entregables del proyecto.

⁷ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 36.

- Expertos de apoyo. Realizan actividades requeridas para desarrollar o ejecutar el plan para del proyecto. Pueden asignarse para trabajar a tiempo completo o participar cuando se requieran sus habilidades específicas.
- Representantes del cliente. Son los miembros de la organización solicitante que aceptarán los entregables del proyecto y asesorarán acerca de los requisitos o aceptabilidad de los resultados del proyecto.

2. PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

En este capítulo se integrarán al ámbito de la construcción los conceptos desarrollados en el capítulo anterior.

2.1. ¿Qué es un proyecto de construcción?

Partiendo de la definición de proyecto del capítulo anterior, un proyecto de construcción se define como un esfuerzo temporal llevado a cabo para crear una obra de construcción. Por construcción, en términos generales, se entiende el trabajo realizado para desarrollar la superficie de la tierra para satisfacer las necesidades de la civilización.

2.1.1. Tipos de proyectos de construcción

Los proyectos de construcción pueden ser clasificados por tipo de instalación (edificios, carreteras, obras públicas, entre otros) o por especialidad (topográfico, estructural, sanitario, entre otros).

Una división más genérica de los tipos de construcción propone la clasificación de estos en construcción vertical y construcción horizontal. Por construcción vertical se entiende todo lo que comienza en el suelo y se construye hacia arriba: edificios, hogares, oficinas, hoteles, escuelas, hospitales, entre otros. Por construcción horizontal, se entiende cualquier cosa que se construya sobre o dentro del suelo en lugar de subir, es decir, infraestructura: caminos, puentes, alcantarillas, canales, drenajes, entre otros.

Figura 7. **Construcción vertical y construcción horizontal**



Fuente: ROGERS, Jim. *Construction management foundations*.

www.linkedin.com/learning/construction-management-foundations. Consulta: 8 de julio de 2017.

2.1.2. Entorno del proyecto de construcción

El entorno de un proyecto de construcción genera influencia sobre este a través de distintos factores. Se describen a continuación los más comunes, incluyendo algunos datos sobre la situación particular de Guatemala.

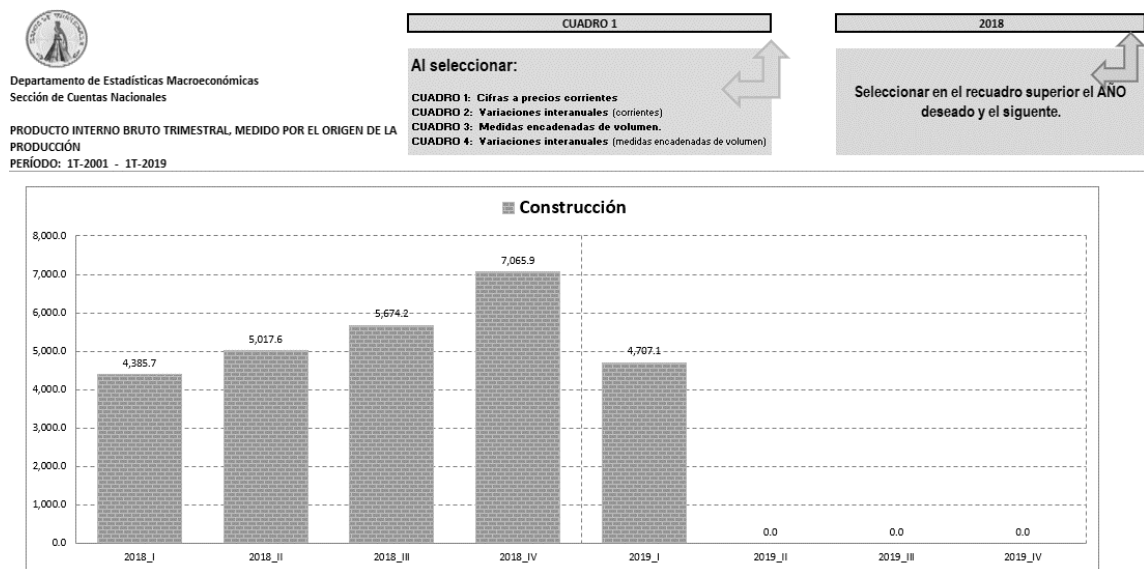
2.1.2.1. Factores económicos

La mayor parte del costo de un proyecto de construcción está relacionada con gastos de recurso humano y adquisición de bienes y materiales. El comportamiento de la economía local y global, pueden impactar los costos del proyecto debido a factores como la inflación, el cambio de divisas, entre otros.

Desde otro punto de vista, los proyectos de construcción también afectan la economía local ya que constituyen un aporte al PIB de una nación. Para el caso de Guatemala, según cifras del Banco de Guatemala, el PIB originado por el

sector construcción para el año 2018 fue de 22 143,5 millones de quetzales. En la figura 8 se presenta el aporte trimestral de la construcción al PIB durante el año 2018 y primer trimestre del 2019.

Figura 8. **Aporte de la construcción al PIB en Guatemala**



Fuente: Banco de Guatemala. *Producto interno bruto trimestral*.

<https://www.banguat.gob.gt/inc/main.asp?id=84369&aud=1&lang=1>. Consulta: 22 de septiembre de 2019.

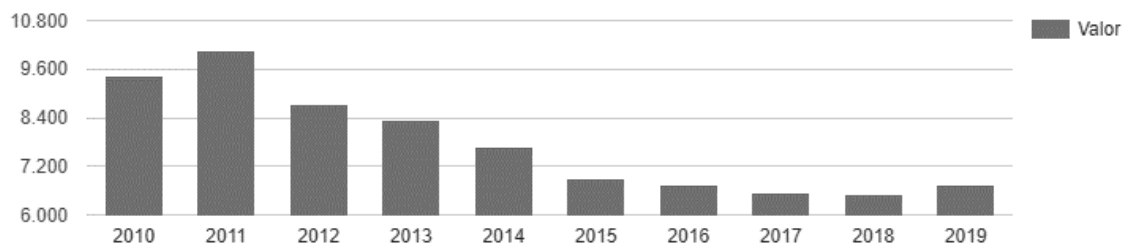
2.1.2.2. Factores financieros

Los proyectos de construcción usualmente requieren alguna forma de financiamiento; por lo tanto, la extensión para la construcción de la guía PMBOK hace hincapié en que un aspecto importante de un proyecto de construcción es el grado al cual el proyecto (y su propietario) es elegible para financiación por parte de instituciones financieras. Obtener el financiamiento para el proyecto es usualmente un hito importante y, en la mayoría de los casos, un factor para tomar la decisión de proceder o no proceder. Las instituciones financieras son partes

importantes, y el contrato de financiamiento puede limitar las opciones o introducir restricciones al proyecto.

La figura 9, obtenida de la Cámara Guatemalteca de la Construcción, muestra una gráfica con tendencia decreciente a partir del año 2011 en cuanto a créditos otorgados en Guatemala al sector privado de la construcción en los últimos años; para el 2019 la curva empieza a presentar un leve crecimiento.

Figura 9. **Créditos al sector construcción (millones de Quetzales)**



Fuente: Cámara Guatemalteca de la Construcción. *Indicadores de la construcción.*

<http://construguate.com/servicios/indicadores-de-la-construccion/#credconst>. Consulta: 4 de mayo de 2019.

2.1.2.3. Factores de ubicación

Una decisión importante en un proyecto de construcción es escoger dónde se construirá. Algunos ejemplos de factores que pueden variar con la ubicación del proyecto, tal como se describen en la extensión para la construcción de la guía PMBOK, son:

- Aspectos geográficos como la topografía, condiciones del suelo, presencia de fallas, patrones del clima, y otros.

- Accesos al sitio, incluyendo la logística para movilizar maquinaria y equipo con sobrepeso o sobredimensionado al sitio, así como mano de obra y materiales (especialmente en sitios móviles, como ocurre en el caso de instalación de líneas de tubería, carreteras, entre otros).
- Leyes y regulaciones, incluyendo los permisos de construcción y los permisos ambientales.
- Actitud de las partes interesadas locales hacia el proyecto.
- Disponibilidad de mano de obra y su nivel de calificación.

Todos estos factores pueden afectar la bancabilidad del proyecto, así como su fecha de inicio. Por esta razón, no deben ser pasados por alto durante las fases de evaluación del proyecto y el análisis de los riesgos.

2.1.2.4. Factores sociales

Otro factor muy importante en el entorno de un proyecto de construcción, es el factor social, visto no sólo desde el punto de vista ético-humano, sino también medioambiental. En los proyectos que involucran instituciones gubernamentales, la sociedad espera que el proyecto sea planificado y ejecutado con principios de honestidad, justa competencia, y uso responsable de los recursos públicos.

Es por esta razón que la promoción de la ética, integridad y transparencia en los proyectos de construcción (especialmente en proyectos públicos) a través de mecanismos que transparenten los procesos de oferta y adjudicación, constituye parte de la estrategia anticorrupción de algunos países. En Guatemala, la plataforma guatecompras.gt, administrada por el Ministerio de

Finanzas, es utilizada con el propósito de transparentar los procesos de adquisición en proyectos de carácter público. La figura 10 presenta un recorte de pantalla de la página principal del sitio Guatecompras.

Figura 10. **Página principal GUATECOMPRAS.gt**



Fuente: *Guatecompras.gt*. <http://www.guatecompras.gt/default.aspx>. Consulta: 1 de junio de 2019.

En el sector privado de la construcción en Guatemala, conceptos de desarrollo como el módulo urbano de vivienda integrada, MUVI, ofrecen soluciones habitacionales a sectores no atendidos con capacidad de adquisición menor que actualmente “solo tienen opción de vivir a varias horas de tráfico del centro de la ciudad o bien alquilar una habitación o una construcción informal,

regularmente con altos índices de riesgo”⁸. La figura 11 presenta un recorte de prensa del primer proyecto MUVI, llamado Trasciende zona 6, que consiste en un edificio de seis niveles ubicado estratégicamente cerca de accesos a transporte público y que ofrece solución habitacional a 71 familias. Proyectos como este ofrecen precios de enganche y mensualidades accesibles a familias cuyos ingresos mensuales están alrededor de dos salarios mínimos.

Figura 11. Edificio Trasciende zona 6, primer proyecto MUVI

Se vendieron
 El proyecto Trasciende La Parroquia es el primer proyecto de vivienda económica que se impulsa para promover la oferta dirigida a los segmentos C- y D+. Está ubicado en 15 avenida 07-47, zona 6. El primer fin de semana de anunciarlos, fueron vendidos.

APARTAMENTO A

- Sala, Comedor, Cocina,
- Lavandería
- 2 habitaciones
- 1 baño de uso múltiple
- 1 parqueo para moto
- 41 metros cuadrados

APARTAMENTO B

- Sala, Comedor, Cocina,
- Lavandería
- 2 habitaciones
- 1 baño de uso múltiple
- 1 parqueo para moto
- 45 metros cuadrados

Fuente: casanuevafba.com.gt
 Infografía: Jorge A. de León G./ elPeriódico

Fuente: elPeriódico. *Construirán vivienda económica para segmento C- y D+.*

<https://elperiodico.com.gt/inversion/2018/08/03/construiran-vivienda-economica-para-segmento-c-y-d/>. Consulta: 21 de septiembre de 2019.

⁸ SOLARES, José A. *Generación de vivienda accesible en zonas urbanas*. Consulta: 21 de septiembre de 2019.

2.1.2.5. Factores ambientales

Las comunidades y la sociedad esperan que los proyectos de construcción sean de beneficio y del menor impacto ambiental posible y que se disponga de los elementos naturales, como el agua, materias primas y recursos, en una forma que asegure la disponibilidad de estos elementos para generaciones futuras. En Guatemala, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales a través del Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental (Acuerdo Gubernativo número 137-2016), establece:

[...] lineamientos, estructura y procedimientos necesarios para apoyar el desarrollo sostenible del país en el tema ambiental, estableciendo reglas para el uso de instrumentos y guías que facilitan la evaluación, control y seguimiento ambiental de los proyectos que se desarrollan o se pretenden desarrollar en el país⁹.

2.2. Ciclo de vida de un proyecto de construcción

Un proyecto de construcción consta normalmente de varias fases y en cada una de ellas participa una amplia gama de servicios especializados. Hasta cierto grado, cada proyecto de construcción es único y ningún trabajo es exactamente igual a otro. En sus especificidades, cada estructura es adaptada a su entorno, dispuesta para realizar una función particular, y diseñada para reflejar gustos y preferencias personales.

Sin embargo, la mayoría de los proyectos de construcción tienen un ciclo de vida que consiste en:

- Concepción y diseño
- Planificación

⁹ Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Reglamento de evaluación, control y seguimiento (Acuerdo Gubernativo número 137-2016)*. p. 2.

- Construcción
- Puesta en marcha y cierre

La extensión para construcción de la Guía PMBOK menciona que, desde el punto de vista del propietario, el ciclo de vida del proyecto inicia cuando este decide formalmente emprender el proyecto; desde el punto de vista del contratista, el ciclo de vida inicia cuando decide ofertar y continuar con las fases de diseño y construcción.

En la figura 12 se ejemplifican varias perspectivas para el ciclo de vida del proyecto desde el punto de vista de propietario, diseñador y contratista, y las tareas macro que a cada uno desempeña conforme este avanza (las barras en la figura no representan una escala real del tiempo de cada actividad; se incluyen para representar relaciones de fin a inicio o de traslape entre estas).

Figura 12. **Perspectivas para el ciclo de vida del proyecto**

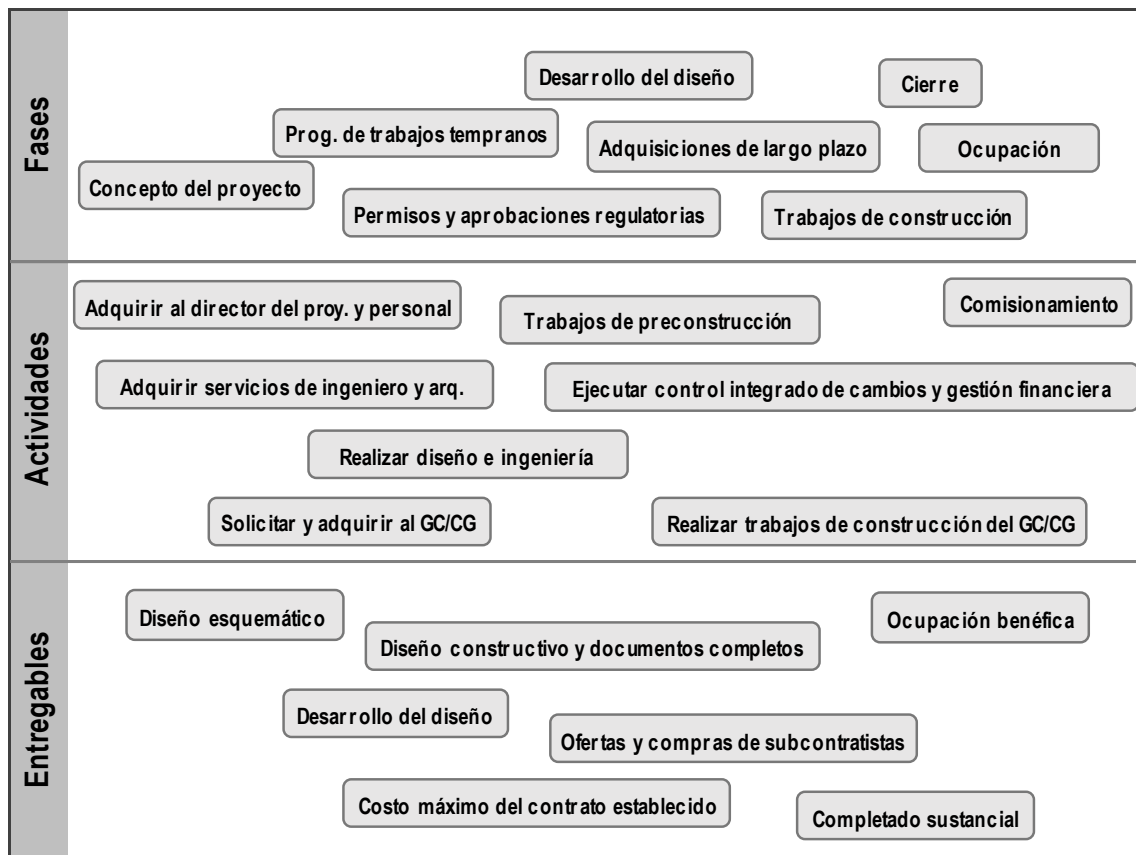
Perspectiva	Actividades macro del proyecto	Tiempo
Propietario	Decisión del negocio para iniciar el proyecto	▼
	Estudio de alternativas	■
	Decisión de proceder/no-proceder	▼
	Desarrollar documentación del RFP del diseño	■
	Emitir el RFP del diseño	▼
	Decisión de presentar una propuesta de diseño	■
	Preparar propuesta de diseño	▼
	Elaborar el diseño	■
	Desarrollar documentación del RFP para construcción	■
	Emitir el RFP para construcción	▼
Diseñador	Decisión de presentar una propuesta de construcción	▼
	Preparar propuesta de construcción	■
	Contratista a bordo	▼
	Ejecutar construcción	■
	Entrega y liquidación	■
Contratista		

Fuente: elaboración propia.

2.2.1. Fases de un proyecto de construcción

Como se indicó anteriormente, los proyectos de construcción se dividen en fases conformadas por actividades de naturaleza relacionada y que culminan con la finalización de algún entregable específico. Estos entregables pueden ser, por ejemplo, los permisos (licencias) de construcción, los planos constructivos, las especificaciones, la obra en sí, entre otros. La figura 13 presenta un ejemplo de las fases de un proyecto de construcción a través de su ciclo de vida en paralelo con las actividades y entregables relacionadas a cada fase.

Figura 13. Fases, actividades y entregables a través del ciclo de vida



Fuente: elaboración propia.

2.3. Gestión de proyectos en la industria de la construcción

Clough, Sears y Sears, en su libro *Construction project management, a practical guide to field construction management*, definen el término gestión de la construcción como la prestación de servicios profesionales de dirección al propietario del proyecto con el objetivo de alcanzar alta calidad a mínimo costo. Para alcanzar este objetivo, un equipo colaborativo debe ser integrado con la finalidad de buscar el equilibrio entre el costo de construcción, la calidad del proyecto y el cumplimiento de programación, para generar el máximo valor al proyecto dentro del lapso más económico.

2.4. Equipo del proyecto de construcción

El equipo de proyecto está compuesto por el propietario y por los profesionales de la construcción que dirigen cualquier fase o aspecto del proceso constructivo.

2.4.1. Propietario

El propietario, sea público o privado, es quien obtiene el financiamiento, diseño y construcción del proyecto. Los propietarios públicos son entidades municipales, estatales o gubernamentales, que ejecutan proyectos para el beneficio general de la población o de un sector de esta, es decir, con una función pública definida; los propietarios privados pueden ser individuos o corporaciones que ejecutan un proyecto para su propio provecho.

2.4.2. Gerente del proyecto de construcción

El gerente del proyecto de construcción, a quien dentro del contexto de este trabajo se le llamará simplemente gerente del proyecto, es la persona designada

“para liderar al equipo responsable de alcanzar los objetivos del proyecto”¹⁰. Es responsable de reconocer no sólo lo que el dueño necesita, sino también cómo las prácticas comunes y los procesos específicos de la gestión de proyectos deben ser aplicados en el contexto de una obra de construcción para que esta sea finalizada dentro de las restricciones de tiempo y costo.

2.4.3. Diseñador

El trabajo del diseñador consiste en consolidar los requerimientos del propietario y de los interesados en una propuesta constructiva detallada que responda a las necesidades y propósito del proyecto. Dependiendo de la naturaleza del proyecto, este rol será designado a un arquitecto o firma de arquitectos, a un ingeniero, o a ambos.

2.4.4. Contratista general

El contratista general es la persona o empresa que oferta sus servicios como responsable de la ejecución de la obra propiamente dicha, utilizando personal, equipo y herramienta propia, o administrando un grupo de subcontratistas especializados que se encargarán de las distintas tareas del proyecto según su rama. Cumple el rol de persona de contacto entre los profesionales de la construcción en campo y el gerente del proyecto.

2.4.5. Especialistas

Son las personas especializadas en ramas o tareas específicas dentro del proyecto. Pueden trabajar de forma independiente para el gerente del proyecto o

¹⁰ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 16.

el contratista general o ser parte del equipo de algún subcontratista. Ejemplos de profesionales especialistas, pueden ser: consultores, calculistas, estimadores, electricistas, entre otros.

2.4.6. Superintendente

El superintendente es la persona delegada por el contratista general para dirigir las operaciones diarias durante la ejecución de la obra. Es el responsable de llevar a cabo las actividades del cronograma, reportar avances y retrasos y, en general, la administración de la obra y la resolución de los problemas que se susciten en campo.

Puesto que tanto el gerente del proyecto como el superintendente asumen roles de dirección en el proyecto, es importante diferenciar entre las atribuciones y el enfoque de cada cual. La tabla I presenta algunas de las diferencias principales.

Tabla I. Diferencias entre gerente de proyecto y superintendente

Gerente de proyecto	Superintendente
<ul style="list-style-type: none"> • Planeación de la estrategia • Enfoque en los datos • Preocupación por los indicadores • 70 % del tiempo en gabinete • Gestionar cambios • Responsable del proyecto 	<ul style="list-style-type: none"> • Planeación de los trabajos • Enfoque en la tarea • Preocupación por el avance • 70 % del tiempo en campo • Solucionar problemas • Responsable de la obra

Fuente: elaboración propia.

2.5. Avances tecnológicos en la gestión de proyectos de construcción

Las nuevas tecnologías en la industria facilitan las tareas de diseño, planificación, control y supervisión de los proyectos; permiten la reducción del tiempo necesario para la culminación del proyecto y resolver con mayor eficacia las necesidades de comunicación y colaboración entre los distintos miembros del equipo.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de elementos que se han visto positivamente afectados por estas tecnologías.

2.5.1. Herramientas y sistemas

El uso de máquinas equipadas con posicionamiento geoespacial, monitoreo de terraplenes con sensores para predecir deslizamientos y fallas, drones equipados con cámaras de alta definición utilizados en agrimensura e inspección de lugares difíciles de alcanzar; son todos ejemplos de herramientas modernas en el campo de trabajo que facilitan y agilizan la obtención de información que sería muy tardado, difícil o imposible de obtener por otros medios y que permiten al equipo del proyecto tomar decisiones con una mayor cantidad de parámetros de referencia.

La figura 14 presenta la imagen de un dron utilizado durante una inspección aérea del sitio del proyecto. Los drones son cada vez más utilizados en la ejecución de tareas de inspección especialmente en puntos de la obra de difícil acceso. También permiten la obtención de fotografías aéreas para la evaluación de propuestas constructivas durante las fases de análisis de prefactibilidad del proyecto y de imágenes de amplio rango de los avances del proyecto durante la fase constructiva.

Figura 14. **Dron utilizado en inspección aérea del sitio**



Fuente: Drones Etc. *Drones and 3-D mapping*. <https://www.dronesetc.com/blogs/news/drones-and-3-d-mapping>. Consulta: 1 de junio de 2019.

Los instrumentos para medición y nivelación láser son una alternativa a los instrumentos análogos que puede ser aplicada en diversos campos de la construcción. Por ejemplo, equipos de nivelación láser pueden ser utilizados en la fundición de losas y pavimentos para garantizar una superficie perfectamente plana; en la instalación de tabiques y cielos falsos, para facilitar la disposición en planos completamente horizontales o verticales; en la instalación de tuberías de drenaje o excavación de zanjas, para obtener alguna pendiente específica; en la medición inmediata de distancias, mediante medidores láser de distancia, entre otros.

La figura 15 ilustra el uso de un equipo de nivelación láser durante la instalación de la estructura para el cielo falso de la obra.

Figura 15. **Uso de equipo de nivelación en instalación de cielo falso**



Fuente: Demaquinasyherramientas.com. *Construcción en seco, ¿cómo instalar y nivelar placas más rápida y eficientemente con el nivel láser?*

<https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion/construccion-en-seco-aplicaciones-nivel-laser>. Consulta: 1 de junio de 2019.

Además de las herramientas, el sitio de trabajo moderno ofrece un entorno de trabajo colaborativo tecnológicamente conectado en términos del flujo de la comunicación y de la información. Almacenamiento de los documentos de construcción en la nube, aplicaciones móviles con acceso a la información del proyecto en tiempo real, software de planificación y diseño que permite el trabajo colaborativo, programas de modelado por integración de información, BIM, que permiten la creación de representaciones digitales de las características físicas y funcionales de los objetos; son todos ejemplos de sistemas modernos que han revolucionado la manera de administrar y compartir la información entre los miembros del equipo de construcción.

La figura 16 ilustra el uso de dispositivos digitales (tabletas electrónicas) para la revisión de los planos en el sitio. Su utilización facilita el traslado y

consulta de la información en el lugar de trabajo y permite la actualización y sincronización inmediata de la información.

Figura 16. **Revisión de planos en dispositivos móviles en obra**



Fuente: Bluebeam. *Bluebeam Revu: Transform the way you build.*
<https://www.bluebeam.com/solutions/revu>. Consulta: 1 de junio de 2019.

2.5.2. Prefabricación y modularización

La extensión para la construcción de la guía PMOBOK habla acerca de la prefabricación y modularización en los siguientes términos: la prefabricación y la modularización no son actividades nuevas para los profesionales en construcción; sin embargo, se están convirtiendo en factores claves para mejorar la productividad en la industria de la construcción a través de mayores eficiencias. La tecnología moderna es aprovechada por los propietarios para reducir costos y comprimir programaciones mediante el traslado del trabajo en sitio a instalaciones externas con ambientes controlados.

Un ejemplo de aplicación de modularización en Guatemala es la utilización, cada vez más común, de las formaletas de aluminio para la construcción de viviendas en serie. La figura 17 ilustra su utilización durante un proyecto constructivo.

Figura 17. **Formaleta de aluminio en construcción de vivienda**

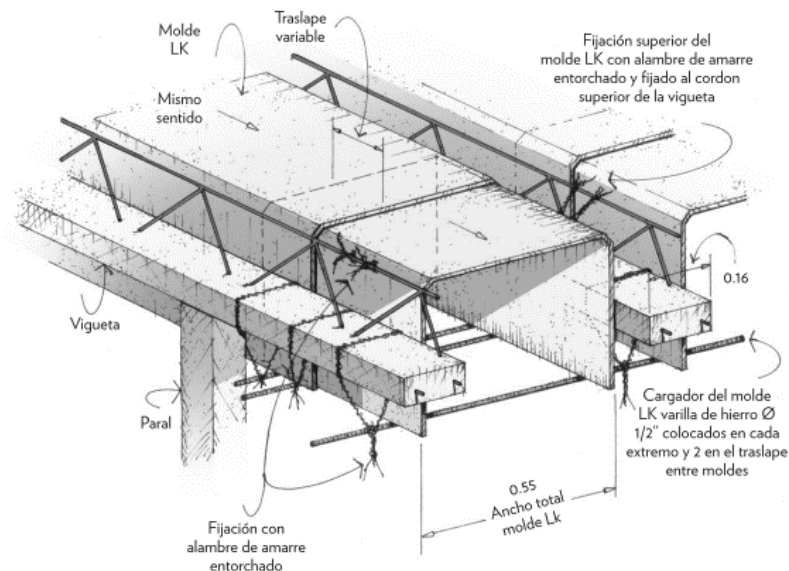


Fuente: Forsa, S.A. *Encofrados en aluminio – Forsa Alum*. <https://www.forsa.com.co/solucion-vivienda/encofrados-en-aluminio-forsa-alum/>. Consulta: 28 de septiembre de 2019.

La prefabricación permite también controlar de una mejor manera la calidad y la seguridad en la realización de los trabajos mediante la transferencia de actividades del sitio del proyecto a ubicaciones externas. Las losas y los muros prefabricados, las estructuras de concreto presforzado, entre otros, son ejemplo de elementos cuya fabricación puede ser mejor controlada mediante procesos industriales fuera del sitio de trabajo.

La figura 18 presenta un bosquejo de instalación para una losa prefabricada utilizando vigas presforzadas. Elementos como este permiten agilizar los procesos de construcción y presentan una variedad de soluciones a las necesidades del desarrollo del proyecto.

Figura 18. **Bosquejo de instalación de losas pretensadas**



Fuente: PRECON. *Procesos para el armado de losas prefabricadas con vigueta y bovedilla o Molde LK.* p. 13.

2.5.3. Gestión *lean*

Las metodologías *lean* tiene como objetivo la mejora continua, minimizar las pérdidas y maximizar el valor del producto final. Las metas de la gestión *lean* en la construcción son minimizar los desperdicios en el sitio, mantener el flujo del trabajo para que el personal sea siempre productivo, reducir inventario de materiales y accesorios, y reducir costos mediante procesos eficientes y

adaptables. Algunas de los desperdicios o ineficiencias que pueden tener lugar en la construcción y que buscan reducirse con los enfoques *lean* son¹¹:

- Tiempos de espera por insuficiencia de equipos, herramientas o materiales.
- Tiempos de espera debido a actividades anteriores inacabadas o mal realizadas.
- Tiempos de espera por falta de una correcta instrucción para realizar el trabajo (estándares de trabajo).
- Acumulación innecesaria de personal y materiales.

Los resultados de una construcción que emplea las metodologías *lean* “se reflejan en una disminución del costo, un aumento de la calidad y una reducción en el plazo de entrega”¹². La herramienta *lean*, conocida como *pull planning*, consiste en un enfoque de colaboración que incluye a aquellos que son directamente responsables de supervisar el trabajo en el campo para que elaboren la planificación de cada fase considerando la mejor de las alternativas disponibles. De esta forma, se logran anticipar conflictos derivados de las necesidades de coordinación entre los equipos de trabajo.

La figura 19 ilustra la aplicación del *pull planning* durante el diseño de un proyecto de construcción para un hospital. Se puede apreciar la participación de personal de distintas ramas del proyecto durante el proceso.

¹¹ Progressa Lean. *Lean Construction: la mejora continua en el sector de la construcción*. Consulta: 7 de junio de 2019.

¹² *Ibíd.*

Figura 19. **Equipo de un proyecto de construcción en *pull planning***



Fuente: HDR. *IPD in Real-Time: Designing and Building the New Parkland Hospital*.
<https://www.hdrinc.com/insights/ipd-real-time-designing-and-building-new-parkland-hospital>.

Consulta: 28 de septiembre de 2019.

3. CONCEPTOS DE LA GUÍA DEL PMBOK

La guía del PMBOK en su quinta edición “proporciona pautas para la dirección de proyectos individuales y define conceptos relacionados con la dirección de proyectos. Describe asimismo el ciclo de vida de la dirección de proyectos y los procesos relacionados[...]”¹³. La guía está conformada por diez áreas de conocimiento y cinco grupos de proceso que interactúan entre sí.

3.1. Propósito de la guía del PMBOK

La guía del PMBOK constituye el estándar globalmente reconocido para la gestión de proyectos. El conocimiento incluido en este estándar ha evolucionado a partir de las buenas prácticas reconocidas por los profesionales dedicados a la dirección de proyectos, quienes han contribuido a su desarrollo. Por “buena práctica” se entiende que hay un consentimiento general en que la aplicación del conocimiento, habilidades, herramientas y técnicas descritas, pueden aumentar las probabilidades de éxito en muchos proyectos. Esto no significa que deban ser aplicadas uniformemente a todos los proyectos; la organización y el equipo de gestión son responsables de determinar qué es apropiado para cada proyecto.

3.2. Grupos de procesos

Tal y como se describe en la guía del PMBOK “un proceso es un conjunto de actividades interrelacionadas ejecutadas para crear un resultado

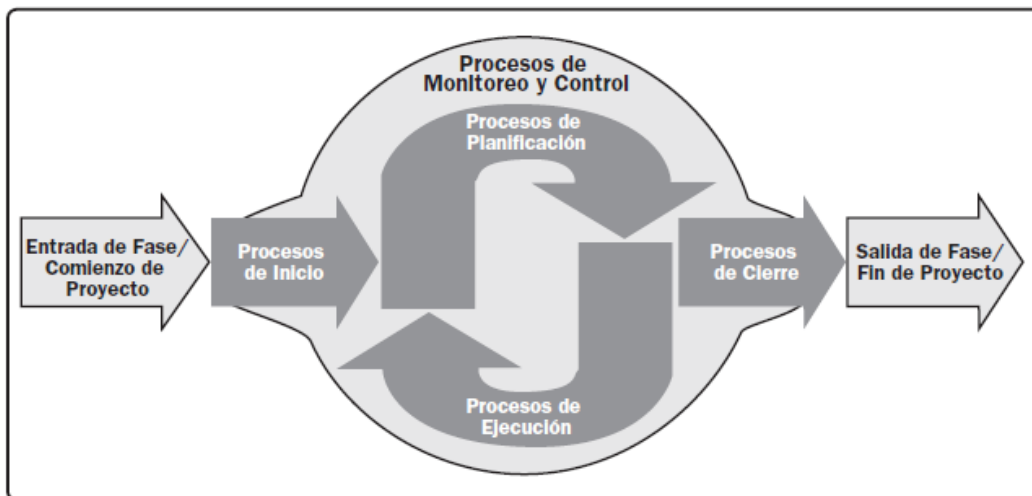
¹³ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 1.

predefinido”¹⁴. Los procesos de la gestión de proyectos están agrupados en cinco categorías conocidas como los grupos de procesos:

- Inicio
- Planificación
- Ejecución
- Monitoreo y control
- Cierre

La aplicación de los procesos es iterativa y muchos procesos son repetidos a lo largo el proyecto. La naturaleza integrativa de la gestión de proyectos requiere que el grupo de monitoreo y control interactúe con los otros grupos de proceso de la manera como se muestra en la figura 20.

Figura 20. **Grupos de procesos de la dirección de proyectos**



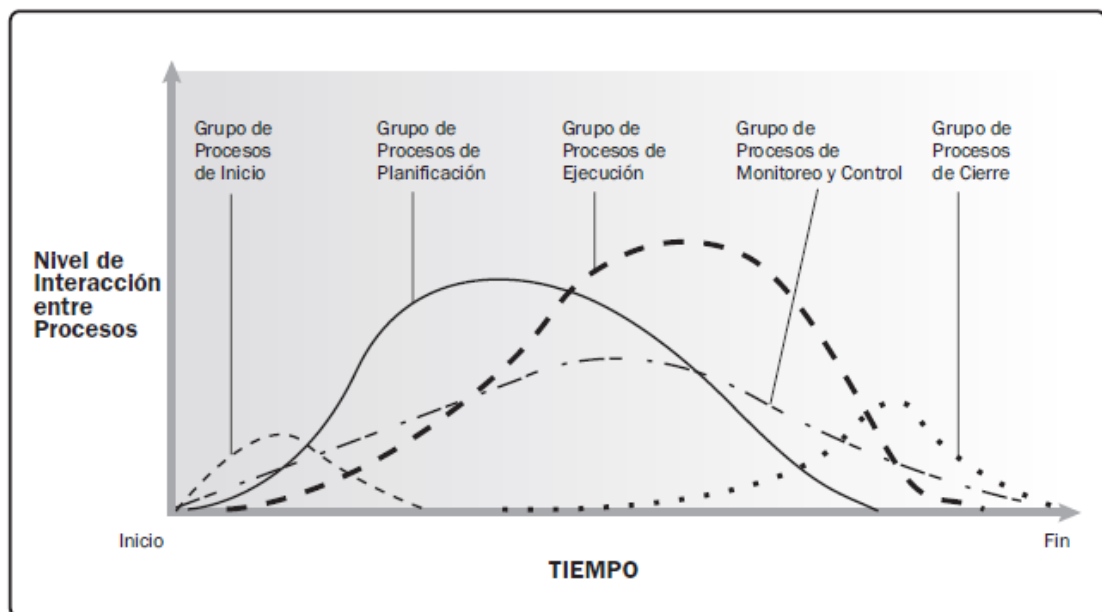
Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 50.

¹⁴ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 47.

Se observa en la figura que los procesos de monitoreo y control se mantienen presentes durante el desarrollo de todos los demás procesos, desde el inicio hasta el cierre.

Los grupos de procesos están relacionados por los resultados que producen. El resultado de un proceso generalmente se convierte en el punto de partida de otro proceso o es un entregable del proyecto o fase del proyecto. Cuando el proyecto está dividido en fases, los grupos de proceso interactúan dentro de cada fase. Por lo tanto, queda aclarado que los grupos de proceso no son fases del proyecto; de hecho, es posible que todos los grupos de proceso puedan ser conducidos dentro de una fase. La figura 21 presenta la interacción típica entre los grupos de proceso, representados por las curvas, a lo largo de la vida del proyecto.

Figura 21. **Interacciones entre los grupos de procesos de un proyecto**



Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*, p. 51.

En los siguientes párrafos se presentan los grupos de proceso tal cual se definen en la guía del PMBOK¹⁵.

3.2.1. Grupo de procesos de inicio

El grupo de proceso de inicio consiste en aquellos procesos ejecutados para definir un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto existente, mediante la obtención de la autorización para iniciar el proyecto o la fase. El propósito principal de este grupo de proceso es alinear las expectativas de los interesados con el propósito del proyecto, darles visibilidad sobre el alcance y los objetivos, y mostrar cómo su participación en el proyecto y las fases asociadas pueden asegurar el logro de sus expectativas.

3.2.2. Grupo de procesos de planificación

El grupo de procesos de planificación consiste en aquellos procesos ejecutados para establecer el alcance total del esfuerzo, definir y refinar los objetivos, y desarrollar el curso de acción requerido para alcanzar dichos objetivos. Los cambios importantes que ocurren a lo largo del ciclo de vida del proyecto generan la necesidad de reconsiderar uno o más de los procesos de planificación y, posiblemente, algunos de los procesos de inicio.

3.2.3. Grupo de procesos de ejecución

El grupo de procesos de ejecución está compuesto por aquellos procesos realizados para completar el trabajo definido en el plan del proyecto a fin de cumplir con las especificaciones del mismo. Implica coordinación de personas y

¹⁵ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. pp. 424-459.

recursos, gestionar las expectativas de los interesados, y llevar a cabo las actividades del proyecto conforme al plan.

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 la disponibilidad de los recursos, así como riesgos no previstos. Gran parte del presupuesto del proyecto se gastará en la realización de los procesos de este grupo.

3.2.4. Grupo de procesos de monitoreo y control

El grupo de proceso de monitoreo y control consiste en aquellos procesos requeridos para darle seguimiento, analizar y dirigir el progreso y desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambios y para iniciar los cambios correspondientes. El desempeño del proyecto es medido y analizado en intervalos regulares con el fin de identificar variaciones respecto al plan. Este monitoreo continuo proporciona visión sobre la salud del proyecto e identifica cualquier área que requiera atención adicional.

3.2.5. Grupo de procesos de cierre

El grupo de proceso de cierre está compuesto por aquellos procesos llevados a cabo para concluir todas las actividades a través de todos los grupos de proceso a fin de completar formalmente el proyecto, fase, u obligaciones contractuales. Este grupo de proceso también establece formalmente la clausura prematura de un proyecto, para el caso de proyectos abortados o cancelados.

En el cierre del proyecto o fase, puede ocurrir lo siguiente:

- Obtener aceptación del cliente o patrocinador para formalmente cerrar el proyecto o fase.
- Conducir una revisión postproyecto o de final de fase.
- Documentar las lecciones aprendidas.
- Aplicar las actualizaciones apropiadas a los procesos organizacionales.
- Archivar todos los documentos relevantes del proyecto en el sistema de información del proyecto, para ser usada como información histórica.
- Llevar a cabo las evaluaciones de los miembros del equipo y liberar los recursos del proyecto.

3.3. Áreas de conocimiento

Los procesos de la dirección de proyectos identificados en la guía del PMBOK se agrupan a su vez en diez áreas de conocimiento. Esta misma guía presenta la siguiente definición para las áreas de conocimiento:

Un área de conocimiento representa un conjunto completo de conceptos, términos y actividades que conforman un ámbito profesional, un ámbito de la dirección de proyectos o un área de especialización. Estas diez áreas de conocimiento se utilizan en la mayoría de los proyectos, durante la mayor parte del tiempo.¹⁶

Es decir, no todas las áreas deben aplicarse a todos los proyectos, sino que dependerá del tamaño, duración y alcance de este. Los equipos de proyecto deben utilizar estas áreas de conocimiento de la manera más adecuada en su proyecto específico.

¹⁶ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 60.

Las áreas de conocimiento de la dirección de proyectos descritas en la guía del PMBOK quinta edición son¹⁷:

- Gestión de la integración del proyecto
- Gestión del alcance del proyecto
- Gestión del tiempo del proyecto
- Gestión de los costes del proyecto
- Gestión de la calidad del proyecto
- Gestión de los recursos humanos
- Gestión de las comunicaciones del proyecto
- Gestión de los riesgos del proyecto
- Gestión de las adquisiciones del proyecto
- Gestión de los interesados del proyecto

La tabla II, ilustra la correspondencia entre los procesos de los cinco grupos de procesos y las diez áreas de conocimiento de la guía del PMBOK. En la primera columna se enlistan las áreas de conocimiento y en los demás campos a la derecha se describen los procesos asociados a cada área de conocimiento dentro del grupo de procesos respectivo.

Es oportuno enfatizar que no en todos los proyectos se abarcan todas las áreas de conocimiento ni se aplican todos los grupos de procesos. Queda a criterio del gerente de proyecto la incorporación de los grupos de procesos y áreas aplicables a su proyecto presente. Al fin y al cabo, la guía del PMBOK es un referente de buenas prácticas y no una norma obligatoria.

¹⁷ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 61.

Tabla II. Grupos de procesos y áreas de conocimiento

Áreas de Conocimiento	Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos				
	Grupo de Procesos de Inicio	Grupo de Procesos de Planificación	Grupo de Procesos de Ejecución	Grupo de Procesos de Monitoreo y Control	Grupo de Procesos de Cierre
4. Gestión de la Integración del Proyecto	4.1 Desarrollar el Acta de Constitución del Proyecto	4.2 Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto	4.3 Dirigir y Gestionar el Trabajo del Proyecto	4.4 Monitorear y Controlar el Trabajo del Proyecto 4.5 Realizar el Control Integrado de Cambios	4.6 Cerrar Proyecto o Fase
5. Gestión del Alcance del Proyecto		5.1 Planificar la Gestión del Alcance 5.2 Recopilar Requisitos 5.3 Definir el Alcance 5.4 Crear la EDT/WBS		5.5 Validar el Alcance 5.6 Controlar el Alcance	
6. Gestión del Tiempo del Proyecto		6.1 Planificar la Gestión del Cronograma 6.2 Definir las Actividades 6.3 Secuenciar las Actividades 6.4 Estimar los Recursos de las Actividades 6.5 Estimar la Duración de las Actividades 6.6 Desarrollar el Cronograma		6.7 Controlar el Cronograma	
7. Gestión de los Costes del Proyecto		7.1 Planificar la Gestión de los Costos 7.2 Estimar los Costos 7.3 Determinar el Presupuesto		7.4 Controlar los Costos	
8. Gestión de la Calidad del Proyecto		8.1 Planificar la Gestión de la Calidad	8.2 Realizar el Aseguramiento de Calidad	8.3 Controlar la Calidad	
9. Gestión de los Recursos Humanos del Proyecto		9.1 Planificar la Gestión de los Recursos Humanos	9.2 Adquirir el Equipo del Proyecto 9.3 Desarrollar el Equipo del Proyecto 9.4 Dirigir el Equipo del Proyecto		
10. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto		10.1 Planificar la Gestión de las Comunicaciones	10.2 Gestionar las Comunicaciones	10.3 Controlar las Comunicaciones	

Continuación de la tabla II.

11. Gestión de los Riesgos del Proyecto		11.1 Planificar la Gestión de los Riesgos 11.2 Identificar los Riesgos 11.3 Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos 11.4 Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos 11.5 Planificar la Respuesta a los Riesgos		11.6 Controlar los Riesgos	
12. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto		12.1 Planificar la Gestión de las Adquisiciones	12.2 Efectuar las Adquisiciones	12.3 Controlar las Adquisiciones	12.4 Cerrar las Adquisiciones
13. Gestión de los Interesados del Proyecto	13.1 Identificar a los Interesados	13.2 Planificar la Gestión de los Interesados	13.3 Gestionar la Participación de los Interesados	13.4 Controlar la Participación de los Interesados	

Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 61.

3.4. Extensión para la construcción del PMBOK

La extensión para la construcción de la guía PMBOK describe el conocimiento y las prácticas suplementarias que son generalmente aceptadas como buenas prácticas en los proyectos de construcción. La extensión incluye áreas de conocimiento que son específicas a la industria de la construcción que no aparecen en la guía del PMBOK, quinta edición. Busca mejorar la eficiencia y efectividad de la gestión de proyectos de construcción, e incluye herramientas, técnicas, procedimientos, procesos y lecciones aprendidas aplicables a la industria.

La extensión está orientada, pero no limitada, a las siguientes audiencias:

- Gerentes de construcción y gerentes de proyecto.
- Contratistas y subcontratistas.

- Especialistas de la construcción (cuantificadores, programadores, ingenieros de costos, analistas de control del proyecto).
- Ingenieros, arquitectos y diseñadores.
- Agencias regulatorias y gubernamentales.
- Organizaciones no gubernamentales (ONG) y empresas privadas.
- Grupos ambientalistas.
- Grupos comunitarios.
- Posibles propietarios.
- Desarrolladores de bienes raíces.
- Vendedores de material y equipo para construcción.
- Consultores y abogados de la industria.
- Instituciones financieras, bancarias y aseguradoras.
- Profesionales de la construcción.
- Otros interesados en el proceso de construcción.

La extensión introduce dos áreas de conocimiento adicionales aplicables a proyectos de construcción:

- Gestión de salud, seguridad, protección y medio ambiente (HSSE, por sus siglas en inglés) del proyecto.
- Gestión financiera del proyecto.

La correspondencia entre estas dos nuevas áreas y los grupos de procesos se presenta en la figura 22. En esta figura se aprecia que las dos nuevas áreas de conocimiento de la extensión para la construcción cuentan con procesos únicamente dentro de los grupos de procesos de planificación, ejecución y monitoreo y control.

Figura 22. Mapeo de los grupos de procesos y áreas de conocimiento

Áreas de conocimiento	Grupos de proceso de la gestión de proyectos				
	Grupo de procesos de Inicio	Grupo de procesos de Planificación	Grupo de procesos de Ejecución	Grupo de procesos de Monitoreo y Control	Grupo de procesos de cierre
Gestión de la integración del proyecto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gestión del alcance del proyecto		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Gestión del tiempo del proyecto		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Gestión de los costes del proyecto		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Gestión de la calidad del proyecto		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Gestión de los recursos humanos		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	●	●
Gestión de las comunicaciones del proyecto		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Gestión de los riesgos del proyecto		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Gestión de las adquisiciones del proyecto		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gestión de los interesados del proyecto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Gestión de salud, seguridad, protección y medio ambiente del proyecto		●	●	●	
Gestión financiera del proyecto.		●		●	

Áreas de conocimiento y grupos de procesos incluidos en la *Extensión para Construcción*

● Áreas de conocimiento y grupos de procesos únicos de la *Extensión para Construcción*

Fuente: elaboración propia.

4. EL MÉTODO DE RUTA CRÍTICA (CPM)

Clough, Sears y Sears indican que el método de ruta crítica (CPM, por sus siglas en inglés) fue desarrollado especialmente para proveer un procedimiento efectivo para planificar y programar las operaciones de construcción. El corazón del método es un plan gráfico de trabajo que muestra todas las actividades de construcción necesarias para la terminación del trabajo y el orden en que deben ser realizadas. Tiene la ventaja de acomodar fácilmente modificaciones, refinamientos y correcciones.

También agregan que este plan gráfico, conocido como red del proyecto, provee al administrador instrumentos invaluable para el control de la programación, como lo son:

- Información concisa respecto a la secuencia planificada de las operaciones de construcción.
- Un medio para predecir, con razonable exactitud, el tiempo requerido para completar el proyecto y los tiempos para alcanzar metas intermedias (comúnmente llamadas hitos).
- Fechas de inicio y terminación propuestas para las actividades del proyecto, consistentes con el plan de construcción.
- Identificación de las actividades críticas cuya oportuna ejecución es crucial para la finalización en tiempo del proyecto.

- Una guía para reducir el tiempo del proyecto.
- Una base para programar subcontratistas y entregas de materiales al sitio de trabajo.
- Una base para la programación balanceada de mano de obra y equipo de construcción en el proyecto.
- La rápida evaluación de los requerimientos de tiempo para métodos de construcción alternativos.
- Un modelo efectivo para computar numéricamente el estatus del proyecto.
- Un medio esencial para el reporte, registro y análisis del progreso.
- Una base para evaluar los efectos del tiempo de los cambios y retrasos en la construcción.
- Un lenguaje para la comunicación de los planes, procesos y metas para el equipo entero del proyecto.

El método requiere la realización de los siguientes procedimientos:

- Elaboración de la red del proyecto a partir de la definición y secuenciación de las actividades que la conforman.
- Estimación de las duraciones para dichas actividades, en función de disponibilidad de recursos y aplicando los métodos de estimación que se consideren adecuados para el proyecto.

- Realizar el cálculo hacia adelante, o *forward pass*, para obtener los inicios y terminaciones tempranos para cada actividad (ES y EF respectivamente, por sus siglas en inglés). El cálculo hacia adelante se realiza aplicando la fórmula: $EF = ES + \text{duración} - 1$, partiendo de la primera actividad.
- Realizar el cálculo hacia atrás, o *backward pass*, para obtener los inicios y terminaciones tardías para cada actividad (LS y LF respectivamente, por sus siglas en inglés). El cálculo hacia atrás se realiza aplicando la fórmula: $LS = LF - \text{duración} - 1$, partiendo de la última actividad.
- Se calcula la holgura de cada actividad a partir de cualquiera de estas fórmulas: $LS-ES$ o $LF-EF$. Esta holgura representa el tiempo que la actividad puede retrasarse sin afectar a la actividad sucesora.

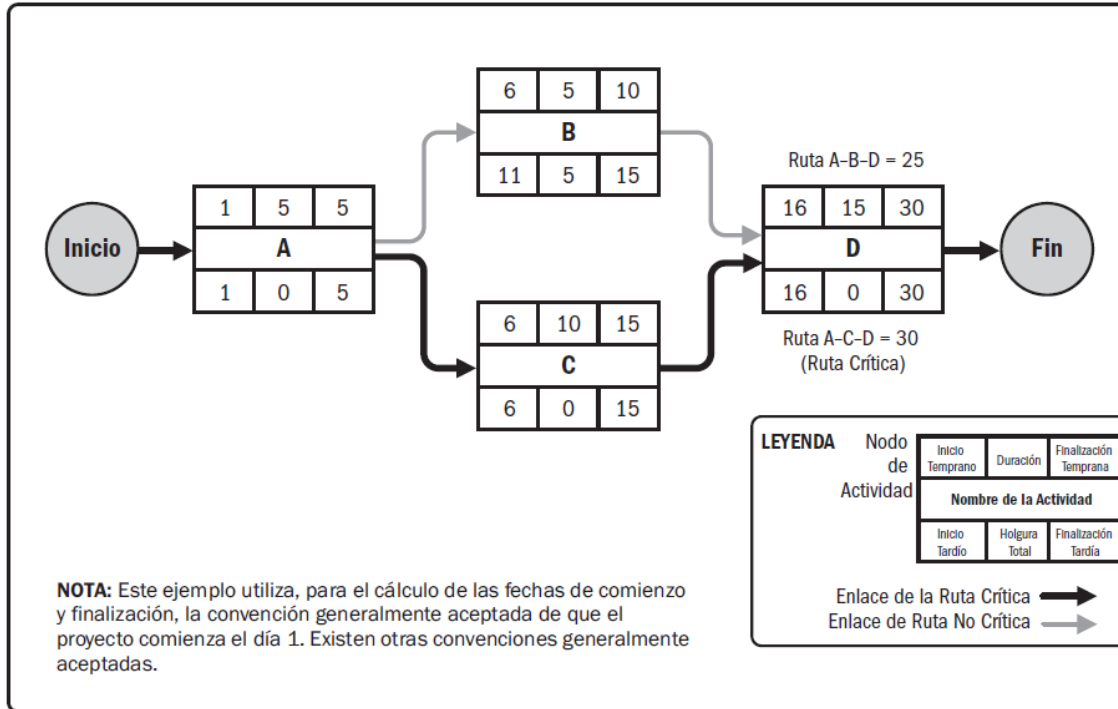
La guía del PMBOK define que “la ruta crítica es la secuencia de actividades que representa el camino más largo a través de un proyecto y determina la menor duración posible del mismo”¹⁸ y agrega dentro del mismo párrafo que “el método de ruta crítica se utiliza para determinar el nivel de flexibilidad en la programación de los caminos de red lógicos dentro del modelo de programación”¹⁹.

En la figura 23 se observa un ejemplo de aplicación del método. En los apéndices podrán encontrarse los cálculos realizados para la obtención de los valores en cada una de las casillas de los nodos de la actividad. La ruta crítica está representada por las actividades enlazadas con la flecha negra y que constituyen la secuencia de actividades con mayor duración para el proyecto; en este caso, 30 días.

¹⁸ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 176.

¹⁹ *Ibíd.*

Figura 23. Ejemplo del método de ruta crítica

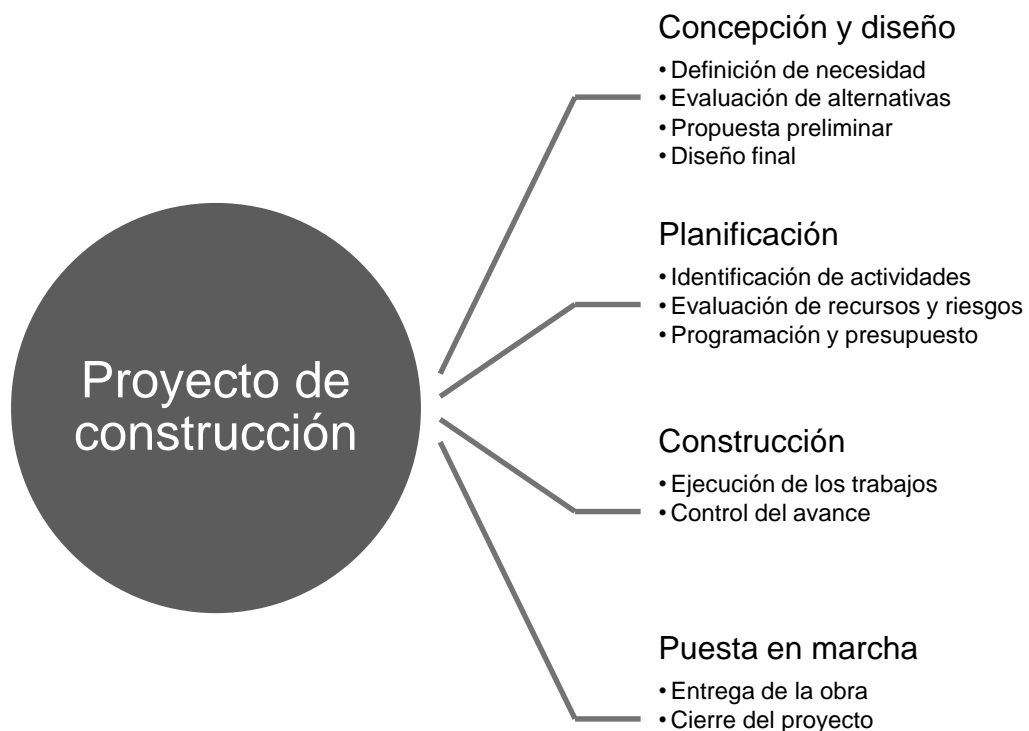


Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 177.

5. METODOLOGÍA PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS

El ciclo de vida de un proyecto de construcción, tal como se describió en el capítulo 2, está conformado por las fases de: concepción y diseño, planificación, construcción, y puesta en marcha. Cada una de estas fases está compuesta, a su vez, por procesos que se desarrollan en la medida en que el proyecto avanza. La figura 24 presenta este esquema de fases y procesos como una metodología secuencial para la gestión de proyectos de construcción.

Figura 24. **Metodología para la gestión de proyectos de construcción**



Fuente: elaboración propia.

En la fase de concepción y diseño el gerente del proyecto se apoya en una serie de técnicas para comprender la necesidad real del propietario y los requerimientos de cada una de las partes interesadas para elaborar, con esta información, un modelo constructivo que requerirá de la aprobación tanto del propietario como de las entidades regulatorias pertinentes para proseguir con su puesta en marcha.

En la fase de planificación el gerente del proyecto junto con el equipo del proyecto evalúa la propuesta para determinar lo que necesita hacerse, cómo puede hacerse, y quién debe hacerlo. Como resultado de esta planificación se elaboran las líneas base del cronograma y presupuesto sobre las cuales descansará el control y reporte de la ejecución de los trabajos.

La fase de construcción consiste en la gestión de los trabajos constructivos según se estableció en el plan. Dentro de esta fase se incluyen también las actividades del control y reporte del avance de la obra, la modificación del plan original para ajustarse a los cambios suscitados durante el complejo proceso de construcción, en caso se requiera, y la participación oportuna de los interesados.

Finalmente, en la fase de puesta en marcha, la obra es entregada al propietario junto con los planos finales, manuales de usuario de las tecnologías instaladas en caso corresponda, y las garantías aplicables. Es también en esta fase de cierre en la que el equipo realiza una evaluación interna de las lecciones aprendidas y el ajuste de los tiempos y costos de referencia para futuros proyectos.

En los capítulos subsecuentes se desarrollará cada una de estas fases incorporando los conceptos y herramientas descritos dentro de la guía del PMBOK, quinta edición, aplicables a las prácticas de la industria de construcción.

6. CONCEPCIÓN Y DISEÑO CON IMPLEMENTACIÓN DEL PMBOK

La figura 25 presenta un esquema de los procesos de la fase de concepción y diseño. En esta fase, los objetivos, requerimientos y especificaciones del proyecto son definidos y las propuestas para alcanzarlos son evaluadas y aprobadas.

Figura 25. **Procesos de la fase de concepción y diseño**



Fuente: elaboración propia.

6.1. Definición de necesidad

Definir la necesidad del proyecto consiste en identificar el problema que el propietario busca resolver o la oportunidad que desea aprovechar. Esta necesidad puede surgir de demandas internas de mejora o expansión, o de influencias externas: reglamentaciones gubernamentales, consideraciones medioambientales, entre otros.

El papel del gerente del proyecto en esta etapa consiste en recopilar toda la información posible del propietario para comprender y enunciar el propósito del proyecto e identificar a la mayoría de los interesados para obtener de estos los requerimientos complementarios que darán cuerpo a los objetivos del proyecto. La aplicación de una estructura de desglose de meta como se describe en los apéndices de este trabajo, puede ser de mucha utilidad para definir la respuesta a la necesidad en todos sus niveles: propósito, objetivos, especificaciones.

6.1.1. Problema y propósito

El problema u oportunidad que se desea aprovechar debe ser definido de tal forma que permita reconocer inmediatamente la situación que se busca mejorar. Definir un problema puede resultar un desafío porque las personas a menudo se dirigen directamente a las soluciones y no al problema. La diferencia es que las soluciones describen el resultado final, no la motivación inicial. Por ejemplo, un resultado final podría ser: necesitar un nuevo edificio; esta no es una declaración de problema, es una solución. Biafore propone que una forma de llegar al problema a partir de la solución es preguntar por qué: ¿por qué se necesita un nuevo edificio?

La tabla III presenta los antecedentes para el proyecto de ejemplo que se desarrollará a lo largo del contenido para ilustrar la aplicación de los conceptos.

Tabla III. **Antecedentes del caso de ejemplo**

Caso de ejemplo
Antecedentes
<p>El gerente de una planta de producción de agregados para la construcción presentó al coordinador de proyectos de la empresa el siguiente problema: la cabina de operación de la báscula para pesaje de camiones al ingreso y salida de la planta resulta demasiado reducida para permitir el adecuado desempeño de los dos operadores ubicados dentro del área, y solicita le sean presentadas propuestas para remediar esta situación. En entrevista con los demás interesados, se determinó que, debido a esta condición, se están incumpliendo los normativos de seguridad industrial especificados en el Reglamento de salud y seguridad ocupacional (Acuerdo Gubernativo 229-2014) en cuanto a espacio libre por trabajador y condiciones de iluminación. Además, la configuración de la cabina no permite una ágil atención a los clientes puesto que la ventanilla para transacciones queda demasiado retirada del camión en turno obligando al piloto a bajar de su unidad, retrasando así el tiempo en cola.</p>

Fuente: elaboración propia.

Las imágenes de la figura 26 presentan las condiciones descritas en el párrafo superior. En estas se puede apreciar lo reducido del área y la conglomeración de mobiliario, equipo y papelería en el espacio de trabajo. La imagen de la izquierda es una vista exterior de la cabina y de la báscula en general; en la imagen del centro se observa cómo los clientes deben descender de su unidad para realizar transacciones con el operador; la imagen de la derecha es una vista al interior de la cabina de operación, con los puestos de los operadores uno al lado del otro dentro de un estrecho espacio para operación de los controles de la báscula propiamente dicha.

Figura 26. **Cabina de operación de báscula antes del proyecto**



Fuente: elaboración propia.

En la tabla IV se define el problema para este caso de ejemplo.

Tabla IV. **Declaración del problema**

Caso de ejemplo
Problema
El área de la cabina de operación de báscula en planta incumple con los demandas de espacio y configuración del área para el adecuado desempeño de las operaciones internas y transacciones con los clientes.

Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso consiste en enunciar, con la misma simplicidad, el propósito del proyecto. El propósito o meta establece el resultado final que el proyecto logrará. Busca brindar una solución al problema planteado y responde directamente a este. La tabla V ofrece un ejemplo de declaración del propósito para el problema de ejemplo.

Tabla V. **Declaración del propósito**

Caso de ejemplo
Propósito
Modificar el área de la cabina de operación de báscula en planta para satisfacer las demandas de espacio y configuración del área para el adecuado desempeño de las operaciones internas y transacciones con los clientes.

Fuente: elaboración propia.

La declaración del propósito es una definición de alto nivel que requiere ser descompuesta en mayor detalle para comprender en su totalidad la necesidad. Para obtener estos detalles, es necesario identificar a los interesados del proyecto quienes complementarán, a través de requerimientos, la información necesaria para formular propuestas de solución al problema.

6.1.2. Interesados

Richman define a los interesados como los individuos y organizaciones que tienen un interés en el proyecto o son afectados por este. La extensión para la construcción de la guía PMBOK hace notar características de algunos proyectos de construcción pueden afectar la gestión de los interesados. Por ejemplo, los proyectos de construcción:

- Ocurren en locaciones geográficas bien definidas
- Requieren de permisos y licencias para su ejecución
- Producen ruido y polvo
- Alteran la economía local
- Pueden alterar el entorno natural local
- Pueden introducir problemas sociales, como la violencia y otros

Identificar a los interesados permite que el gerente del proyecto se concentre en las relaciones necesarias para asegurar el éxito del proyecto. La creación de un registro con la información de los interesados es necesaria para entender los roles, expectativas y nivel de influencia de cada interesado. Para la elaboración de este registro, se propone la utilización de una matriz que incluya los siguientes campos²⁰:

- Información de identificación. Nombre, puesto en la organización, ubicación, rol en el proyecto, información de contacto.
- Información de evaluación. Requisitos principales, expectativas principales, influencia potencial en el proyecto, fase del ciclo de vida con el mayor interés.
- Clasificación de los interesados. Interno/externo, partidario/neutral /reticente, tipo de gestión, entre otros.

En la tabla VI se presenta la matriz de registro de interesados para el proyecto de ejemplo que se está desarrollando. En ella se incluyen los campos anteriormente descritos. Es importante considerar que “el registro de los interesados se debe consultar y actualizar de manera regular ya que los interesados podrían cambiar o se podrían identificar nuevos a lo largo del ciclo de vida del proyecto”²¹. Se sugiere realizar un registro inicial en la etapa de concepción y diseño y actualizarlo previo al inicio de la etapa de construcción de la obra, ya que para este punto se habrán identificado otros entes con importante participación en la toma de decisiones del proyecto.

²⁰ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 398.

²¹ *Ibíd.*

Tabla VI. **Registro de interesados**

Interesados				
Caso de ejemplo	Nombre*/posición	Rol en el proyecto	Requerimientos / expectativas principales	Gestión
	Coordinador de SSO	Auditor para el apego a normas de seguridad	Que se cumpla lo normado en el Acuerdo Gubernativo 229-2014: Reglamento de salud y seguridad ocupacional, en cuanto a las condiciones del ambiente de trabajo de los operadores.	Mantener informado
	Operadores de Báscula	Usuarios finales del proyecto	Contar con un área cómoda en la que puedan realizar ágilmente las transacciones con los clientes mediante la implementación de mejoras al área.	Mantener informados
	Jefe de planta	Supervisor de campo y responsable del proyecto de parte del propietario	Ejecutar el proyecto según las especificaciones que se acuerden, de manera segura, y con mínima interrupción a la operación.	Gestionar atentamente
	Gerente de región	Responsable último del proyecto por el propietario	Ejecución sin incidentes y sin afectar la atención a los clientes.	Gestionar atentamente
	Gerente de operaciones	Patrocinador del proyecto (propietario del proyecto)	Ejecución del proyecto al menor costo y tiempo posible.	Mantener satisfecho

*Se omiten los nombres por no ser de relevancia para el propósito del ejemplo.

Fuente: elaboración propia.

En los apéndices se incluye una herramienta para determinar la gestión que cada interesado puede requerir (último campo de la matriz de ejemplo, tabla VI). Conocida como matriz poder-interés, su utilización facilitará la clasificación de los interesados en función de su influencia sobre el proyecto.

6.1.3. Objetivos y requerimientos

Los objetivos definen aún más el propósito al completar los detalles. La identificación de objetivos es importante porque permiten definir el alcance y los criterios de éxito para el proyecto. Algunos de los tipos más comunes de objetivos son:

- **Objetivos de negocio:** estrategias o tácticas que respaldan las metas del propietario. Por ejemplo, expansión del negocio.
- **Objetivos financieros:** directamente asociados a las utilidades, ganancias o gastos de la organización. Por ejemplo, incrementar ingresos, reducir costos.
- **Objetivos de desempeño:** buscan la mejora de alguna condición específica para lograr resultados óptimos.

La participación de las áreas funcionales involucradas en el proyecto, así como de los usuarios o clientes finales en la definición de los objetivos, es fundamental para lograr convertir la meta o propósito en objetivos puntuales.

La tabla VII presenta los objetivos definidos para el proyecto de ejemplo.

Tabla VII. **Objetivos del proyecto de ejemplo**

Caso de ejemplo
Objetivos
<ul style="list-style-type: none">• Optimizar la configuración del área de trabajo de los operadores de báscula.• Cumplir con lo estipulado en el Reglamento de salud y seguridad ocupacional (Acuerdo Gubernativo 229-2014) en los artículos que apliquen a las condiciones generales y ambiente de trabajo para la cabina de operación de báscula.• Agilizar las transacciones con los clientes para reducir los tiempos de cola.• Optimizar recursos para ejecutar proyecto al menor costo posible para no afectar las metas de ahorro de la compañía.

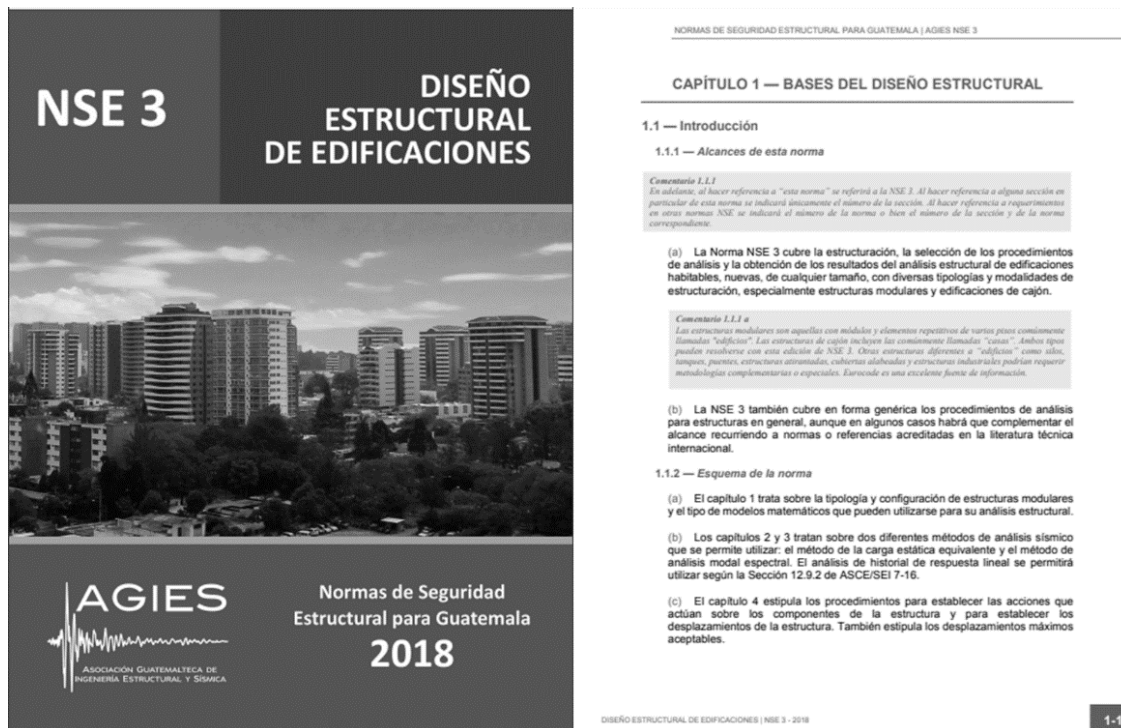
Fuente: elaboración propia.

Los requerimientos proporcionan detalles y características específicas a los objetivos detalles. Incluyen condiciones o capacidades generales y cuantificables que deben estar presentes en el producto final. En la definición de requerimientos para proyectos de construcción, es común abordar los siguientes:

- **Requerimientos mandatorios.** Estos requerimientos son impuestos por la legislación y aplicados por autoridades de la región en la que se construirá el proyecto; su cumplimiento es considerado primordial para la operación segura de las instalaciones.

- Requerimientos de calidad del propietario. Estos requerimientos, descritos en las condiciones contractuales, establecen el criterio de calidad para el desempeño técnico y aceptación de los entregables del proyecto.
- Códigos y estándares específicos de la industria. Estos requerimientos definen un desempeño y criterios de aceptación específicos en función de lo establecido en normativos o estándares de la construcción. Un ejemplo para Guatemala es el compendio de normas de seguridad estructural de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, AGIES. La figura 27 presenta la portada de la Norma de seguridad estructural para el diseño estructural de edificaciones, NSE 3, en su versión 2018.

Figura 27. Portada e interior de la NSE 3



Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Biblioteca*.

www.agies.org/bibliotecas. Consulta: 30 de junio de 2019.

En la tabla VIII se presentan los requerimientos para cada objetivo del proyecto de ejemplo. Se puede observar que algunos de estos son requerimientos obligatorios, como es el caso del cumplimiento del Reglamento de salud y seguridad ocupacional; otros, son requerimientos de calidad del propietario.

Tabla VIII. **Requerimientos para cada objetivo**

Caso de ejemplo	
Requerimientos	
•	Optimizar la configuración del área de trabajo de los operadores de báscula. <ul style="list-style-type: none"> ○ Facilitar una estación de trabajo individual para cada operador. ○ Redistribuir las ubicaciones de tomacorrientes y puntos de red para evitar saturación de cables e instalaciones provisionales. ○ Suministro de equipo para servicio del personal (dispensador de agua, cámara fría).
•	Cumplir con lo estipulado en el Reglamento de salud y seguridad ocupacional (Acuerdo Gubernativo 229-2014) respecto a las condiciones generales y ambiente de trabajo. <ul style="list-style-type: none"> ○ Cumplimiento de área mínima de trabajo. ○ Cumplimiento de condiciones de iluminación.

Continuación de la tabla VIII.

- Agilizar las transacciones con los clientes para reducir los tiempos de cola.
 - Acercar ventanilla a clientes para evitarle al cliente el descenso de su unidad (camión)
 - Habilitar visual a cola de clientes mediante incorporación de ventanas frontales y posteriores.
 - Modificar ventanilla para facilitar cierre y apertura durante las transacciones.
- Ejecutar proyecto al menor costo posible para no afectar las metas de ahorro de la compañía.
 - Aprovechar recursos existentes en planta para reducción de costos (instalaciones, soldadoras, energía eléctrica, combustible).

Fuente: elaboración propia.

Los estándares específicos de la industria aún no han sido incorporados pues, para el caso específico de este proyecto, se solicitará a un especialista en estructuras para realizar la propuesta de diseño estructural como se verá más adelante.

6.2. Evaluación de alternativas

Dentro de las tareas del gerente del proyecto, está la evaluación de las distintas alternativas que podrían dar solución al problema planteado y satisfacer los requerimientos. A menos que el propietario requiera la implementación de alguna solución en particular, el proceso de evaluar las alternativas permite escoger aquella que presente mayores beneficios a través del cumplimiento de los objetivos. Una vez seleccionada la mejor alternativa, se procederá con la elaboración de un diseño esquemático que se perfeccionará iterativamente hasta llegar a la propuesta constructiva final. Para el caso en el que el propietario tenga ya definida la solución que desea implementar, este paso se omite y se pasa directamente al diseño esquemático.

En el proyecto de ejemplo se formularon las siguientes alternativas que podrían dar solución al problema:

- Remodelar mobiliario (únicamente): descartar el mobiliario obsoleto y fabricar e instalar nuevo mobiliario en una configuración que optimice los espacios.
- Remodelación de estructura: remodelar la estructura actual para generar más área transversal mediante reubicación (demolición y construcción nueva) de las paredes laterales de la oficina.
- Remodelación de estructura y mobiliario: implementar ambas estrategias arriba descritas.
- Construcción nueva: construir una cabina de báscula nueva.

Estas estrategias se presentaron en reunión con los interesados para su evaluación a manera de seleccionar en conjunto la mejor alternativa a desarrollar.

6.2.1. Selección de estrategia

La selección de estrategias para el logro de los objetivos de un proyecto requiere de la estimación objetiva y subjetiva (puesto que depende de la apreciación del evaluador) de cada una de las alternativas en función de la disponibilidad de recursos, de los riesgos, beneficios, y de los demás factores que puedan impactar en los resultados del proyecto.

- Para escoger la mejor alternativa para el proyecto, se sugiere la implementación de una matriz de selección que permita comparar entre las distintas alternativas o estrategias propuestas para seleccionar aquella que satisfaga de mejor manera los objetivos del proyecto. A través de la asignación de valor a cada uno de los objetivos y estrategias en función de la probabilidad de que estas satisfagan dichos objetivos en escala de 1 a 5 (1- improbable, 2- poco probable, 3- probable, 4- muy probable, 5- absolutamente probable), se establece un criterio de ponderación de las opciones.

La matriz de selección del proyecto de ejemplo se muestra en la tabla IX. Después de realizada la ponderación de las opciones y de haber realizado los cálculos respectivos para la obtención de la nota final para cada alternativa, se seleccionó la estrategia de remodelar la estructura y el mobiliario por haber obtenido la nota más alta y estar alineada con los objetivos estratégicos de la organización según los criterios del propietario y de los interesados asignados a la evaluación de las opciones.

Tabla IX. **Matriz de selección: ponderación de riesgos y alternativas**

Objetivos	Prioridad	Alternativas			
		Remodelación de mobiliario (únicamente)	Remodelación de estructura	Remodelación de estructura y mobiliario	Construcción nueva
Optimizar configuración del área de trabajo.	3	5	3	5	3
Cumplir con Reglamento de salud y seguridad ocupacional.	4	1	3	5	5
Agilizar las transacciones con los clientes.	1	2	3	5	5
Ejecutar al menor costo posible.	2	5	3	3	1
Total*		31	30	46	36

*Los valores totales se obtuvieron mediante la función *suma producto* aplicada a los valores de la columna *Prioridad* y las ponderaciones de cada columna de *Alternativas*. De esta forma, el valor de 46 obtenido para la alternativa de *remodelación de estructura y mobiliario*, se obtuvo de la suma de las multiplicaciones del valor de cada objetivo por la probabilidad de que la alternativa satisfaga el objetivo según la escala establecida ($3 \times 5 + 4 \times 5 + 1 \times 5 + 2 \times 3$).

Fuente: elaboración propia.

6.2.2. Riesgos de alto nivel

Un riesgo es una situación o evento incierto que podría afectar el proyecto positiva o negativamente. La evaluación inicial de riesgos para el proyecto implica:

- Identificar los riesgos que puedan impedir el progreso y el éxito del proyecto.
- Desarrollar una lista inicial de respuestas para los riesgos que tienen consecuencias inaceptables.

Esta evaluación inicial de riesgos permitirá tomar consideraciones adicionales sobre la alternativa seleccionada e inclusive podría resultar en la selección de alguna otra estrategia o la cancelación del proyecto.

Para el caso del proyecto de ejemplo, la evaluación inicial de riesgos permitió establecer que, debido a la necesidad de atender continuamente el flujo de clientes, la operación de la báscula no debía interrumpirse durante la ejecución de los trabajos constructivos. Tomado esto en consideración, el calendario de trabajo debería incluir únicamente en fines de semana las tareas que implicaran actividad directa en el área de báscula. Para el resto de las tareas, estas podrían realizarse en el taller habilitado en el sitio sin ninguna restricción de días.

En la tabla X se presenta la matriz de evaluación de riesgos de alto nivel (riesgos asociados a la gestión del proyecto) para el proyecto de ejemplo. En el primer campo se incluyen los riesgos identificados y en el segundo se describen las respuestas iniciales en caso se presenten estos riesgos.

Tabla X. **Evaluación de riesgos de alto nivel**

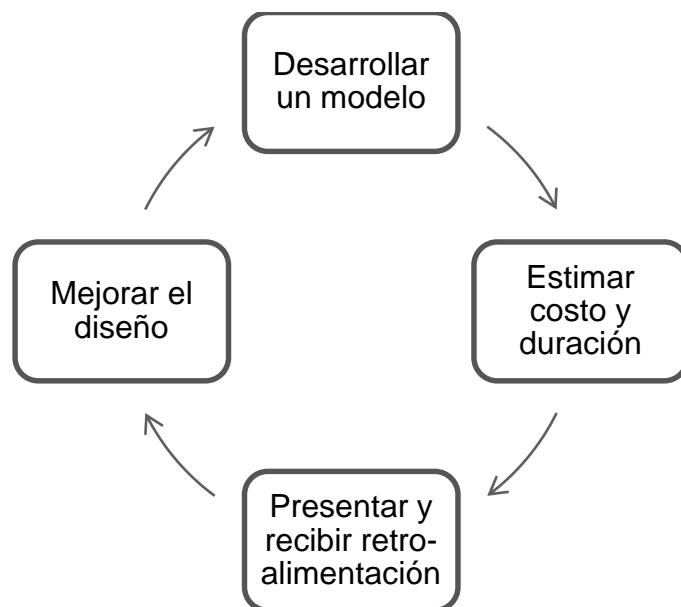
Riesgos	Respuestas iniciales
Interrupción de la operación de báscula para ejecución de los trabajos.	Coordinar calendarios de trabajo con gerencia de planta para no afectar las operaciones de la báscula.
Falta de condiciones estructurales adecuadas para la cimentación.	Requerir análisis y diseño estructural a especialista; subcontratar diseño estructural.
Selección inadecuada del tipo de estructura a construir (mampostería o marcos de concreto vs. estructura metálica)	Requerir análisis y diseño estructural a especialista; subcontratar servicio de consultoría para tomar la mejor decisión en cuanto al tipo de estructura según los objetivos del proyecto.
Insuficiencia de espacio ganado para satisfacción del objetivo de mayor prioridad: cumplimiento del Reglamento de salud y seguridad ocupacional.	Corroborar en la propuesta esquemática que el área ganada sea suficiente para satisfacer el área mínima requerida por el reglamento. Verificar que el diseño contemple otras regulaciones estipuladas en el reglamento.

Fuente: elaboración propia.

6.3. Propuesta preliminar

La elaboración de una propuesta preliminar permitirá al propietario y a los interesados previsualizar el resultado del proyecto, su costo y tiempo de ejecución antes de aprobar su puesta en marcha. La elaboración de la propuesta consistirá en el desarrollo, revisión y mejora iterativa de un modelo constructivo que responda a la estrategia seleccionada y se adapte al presupuesto y duración autorizados. Este proceso se esquematiza en la figura 28.

Figura 28. **Ciclo de la elaboración de la propuesta**



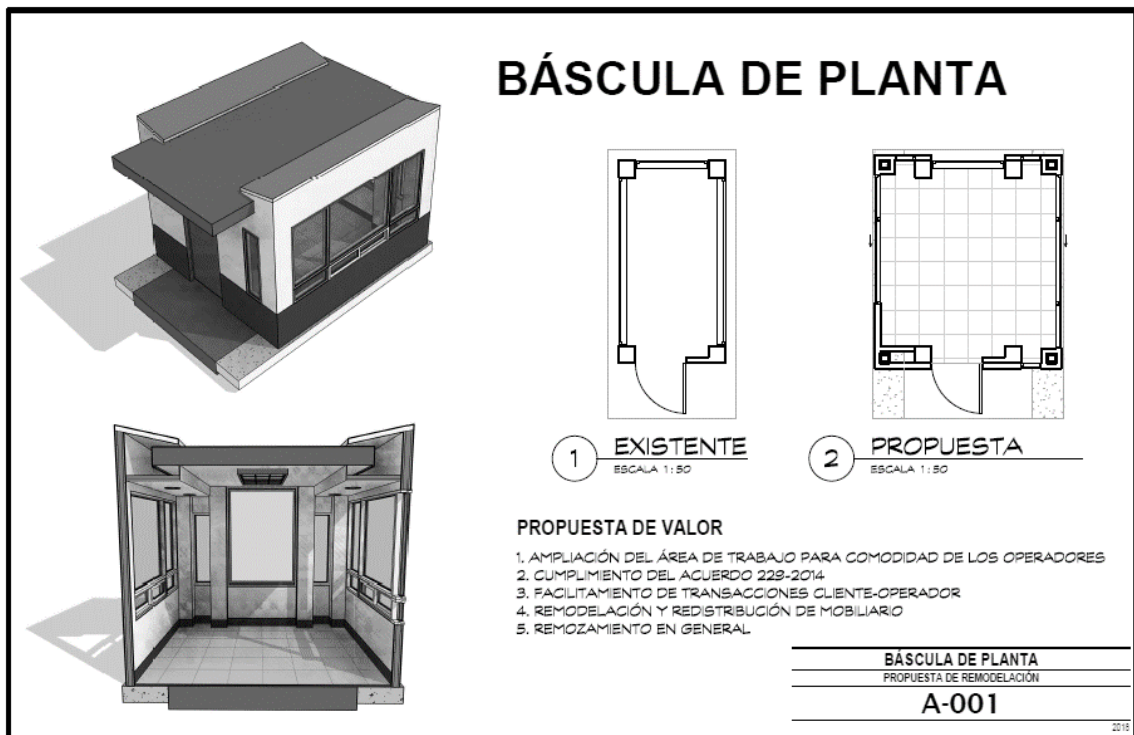
Fuente: elaboración propia.

Incluir este proceso antes de la elaboración del diseño final evitará el retrabajo en el que se podría incurrir al confeccionar a detalle las especificaciones y planos finales del proyecto sin contar con el consentimiento y la aprobación final de la propuesta; se ahorra de esta manera el esfuerzo innecesario al equipo.

6.3.1. Diseño esquemático

En un diseño esquemático se proponen y exploran las principales ideas de diseño incluidos los esquemas alternativos. Los documentos producidos en esta fase incluyen planos del sitio, plantas, elevaciones y secciones suficientes para la estimación preliminar del costo y duración de los trabajos constructivos. El diseño esquemático a menudo requiere múltiples presentaciones al cliente para su revisión y aprobación, y puede abarcar la producción de perspectivas, representaciones y modelos para describir el concepto de diseño. En la figura 29 se presenta la primera hoja de los planos esquemáticos aceptados para el proyecto de ejemplo:

Figura 29. **Diseño esquemático de propuesta**



Fuente: elaboración propia.

6.3.2. Presupuesto preliminar

Las estimaciones preliminares de los futuros gastos de construcción son necesariamente aproximadas porque se compilan antes de que el proyecto esté completamente definido. Su cálculo constituye una manera expedita de presentar un valor estimado al cliente para obtener su aprobación para continuar con el desarrollo del proyecto, o para que este solicite modificaciones o, en el peor de los casos, la cancelación del mismo. Una vez autorizado el proyecto, esta estimación deberá ser refinada durante la etapa de planificación previo a convertirse en la línea base del presupuesto del proyecto.

Clough, Sears y Sears indican que, fundamentalmente, todas las estimaciones de precios se basan en algún sistema de costos unitarios brutos obtenidos de obras de construcción anteriores extrapolados en el tiempo para reflejar las condiciones actuales del mercado, la ubicación del proyecto y su carácter particular.

Algunos de los métodos comúnmente usados para la estimación preliminar incluyen:

- Estimación por unidad de área. Se genera un costo aproximado utilizando un precio estimado para cada unidad de superficie bruta, por ejemplo, precio por metro cuadrado de construcción de vivienda de algún tipo particular.
- Estimación por unidad de volumen. Se basa en un gasto aproximado para cada unidad del volumen total comprendido, por ejemplo, precio por metro cúbico de bodega de algún tipo de estructura en particular.

- Estimación paramétrica. Involucra costos unitarios para cada uno de varios componentes o sistemas de construcción diferentes, por ejemplo, precio por metro cuadrado de muro levantado, precio por metro cúbico de excavación, entre otros.

Para el caso de ejemplo se realizó una estimación por unidad de área considerando la superficie completa a remodelar, utilizando precios de referencia de proyectos anteriores. Si bien esta estimación no arrojará un valor preciso del proyecto, servirá como referencia para que el propietario se forme una idea general del costo de los trabajos. En la tabla XI se presenta el presupuesto preliminar del caso de ejemplo en tres renglones: el primero corresponde a los trabajos de construcción; el segundo a las instalaciones y el tercero a la fabricación e instalación de mobiliario.

Tabla XI. **Presupuesto preliminar del proyecto**

Caso de ejemplo				
Presupuesto preliminar				
Descripción	Uni.	Cant.	P.U. Ref.	Subtotal
Diseño	m ²	13	Q. 350,00	Q. 4 550,00
Construcción	m ²	13	Q. 6 500,00	Q. 84 500,00
Instalaciones	global	1	Q. 15 000,00	Q. 15 000,00
Mobiliario	m	8	Q. 2 000,00	Q. 16 000,00
Equipo de servicio	global	1	Q. 6 000,00	Q. 6 000,00
Subtotal				Q. 126 050,00
Contingencia (5 %)				Q. 6 302,50
Total				Q. 132 352,50

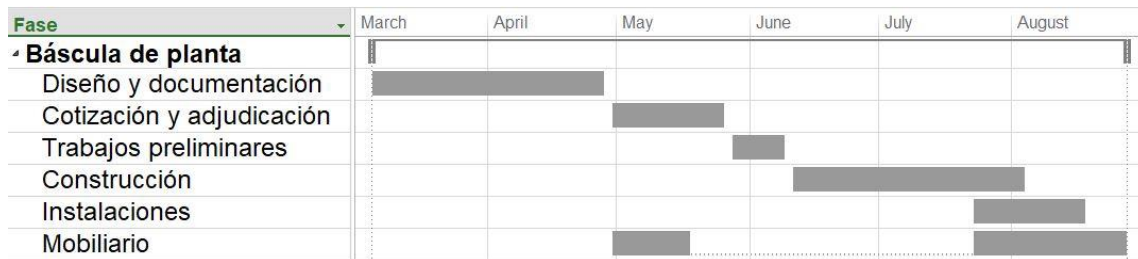
Fuente: elaboración propia.

6.3.3. Cronograma preliminar

Diseñar un plan general permite establecer los periodos de tiempo requeridos para cada una de las partes principales del trabajo y la fecha estimada de finalización del proyecto en su conjunto. Si la fecha de terminación no está en consonancia con los requisitos del propietario, se tendrá que volver a trabajar en el plan del proyecto o reformular los alcances del mismo en cuanto a la triple restricción.

La figura 30 presenta el cronograma preliminar para el proyecto de ejemplo.

Figura 30. Cronograma general del proyecto



Fuente: elaboración propia.

6.3.4. Aprobación del propietario

La aprobación de la propuesta de proyecto se realiza mediante un documento en el que se describen los motivos, objetivos y alcances generales del proyecto, y sobre el cual el propietario manifestará su conformidad con lo presentado. Este documento establece también una relación de colaboración entre ambas partes.

Para el proyecto de ejemplo, la aprobación del propietario se obtuvo mediante su consentimiento en una de las reuniones del proyecto con la participación de varios de los interesados. Sin embargo, se dejó constancia de esta aprobación a través de un correo al propietario con copia a los interesados principales en los términos que se describen en la tabla XII.

Tabla XII. **Transcripción del documento de inicio del proyecto**

Caso de ejemplo
<p style="text-align: right;">Marzo del 2018.</p> <p>Estimado (propietario), reciba un cordial saludo.</p> <p>En seguimiento a la formulación de la necesidad de realizar cambios en las instalaciones actuales de la cabina de báscula, y tomando en consideración el incumplimiento del Reglamento de Salud y Seguridad (Acuerdo gubernativo 229-2014) en lo que se refiere principalmente a las condiciones generales y ambiente de trabajo que deben ser satisfechas; se procedió a evaluar, en conjunto con todas las partes interesadas, las alternativas disponibles para cumplir con estas demandas y para facilitar y agilizar las operaciones internas y transacciones con los clientes, aspecto muy importante para el desempeño de los procesos del área, para el servicio al cliente y para la seguridad industrial.</p> <p>Después de un proceso de revisión de alternativas en el que estuvieron involucradas las posiciones de gerencia, jefatura de planta, operadores de báscula, coordinación de S&SO, y coordinación de proyectos, se tomó la decisión de proceder con la remodelación de las instalaciones actuales y del mobiliario para satisfacer las necesidades planteadas en el párrafo anterior.</p>

Continuación de la tabla XII.

Los trabajos consistirán en:

- Reubicación de los muros laterales de la oficina para generar más área de trabajo.
- Instalación de ventanas en la parte frontal y trasera para permitir visual a la cola de clientes.
- Mejora de la iluminación en el área mediante instalación de luminarias adicionales.
- Redistribución de los tomacorrientes y del circuito eléctrico en general.
- Remodelación de mobiliario: fabricación de mobiliario adaptado a las necesidades de los operadores y remoción de mobiliario obsoleto.
- Suministro de equipo básico para el servicio del personal.
- Remozamiento general de las instalaciones (piso, acabados, pintura).

Se tiene contemplado desarrollar el proyecto en un período de cuatro meses a un costo estimado de Q. 132 500 que incluye los trabajos de diseño, construcción, readecuación de instalaciones eléctricas, fabricación e instalación del mobiliario nuevo, y suministro de equipo básico de servicio. Este monto también incluye una contingencia del 5 % para la cobertura de las eventualidades que se puedan suscitar derivadas de los riesgos no identificados e imprevistos.

Continuación de la tabla XII.

Finalmente, deseo hacer de su conocimiento que estaré a cargo de la dirección del proyecto y seré responsable de la planificación, desarrollo y entrega del proyecto y de las coordinaciones y comunicaciones entre los interesados y los contratistas encargados de la ejecución.

Sin otro particular, me despido atentamente.

(Gerente del proyecto).

Fuente: elaboración propia.

6.4. Diseño final

El diseño final se elabora a partir de la aprobación previa del propietario sobre la propuesta preliminar del proyecto. En esta etapa, el equipo del proyecto se concentra en definir las características y particularidades de la obra a ejecutar estableciendo claramente los alcances del proyecto. El diseño final estará conformado por los planos constructivos y las especificaciones de la obra de construcción.

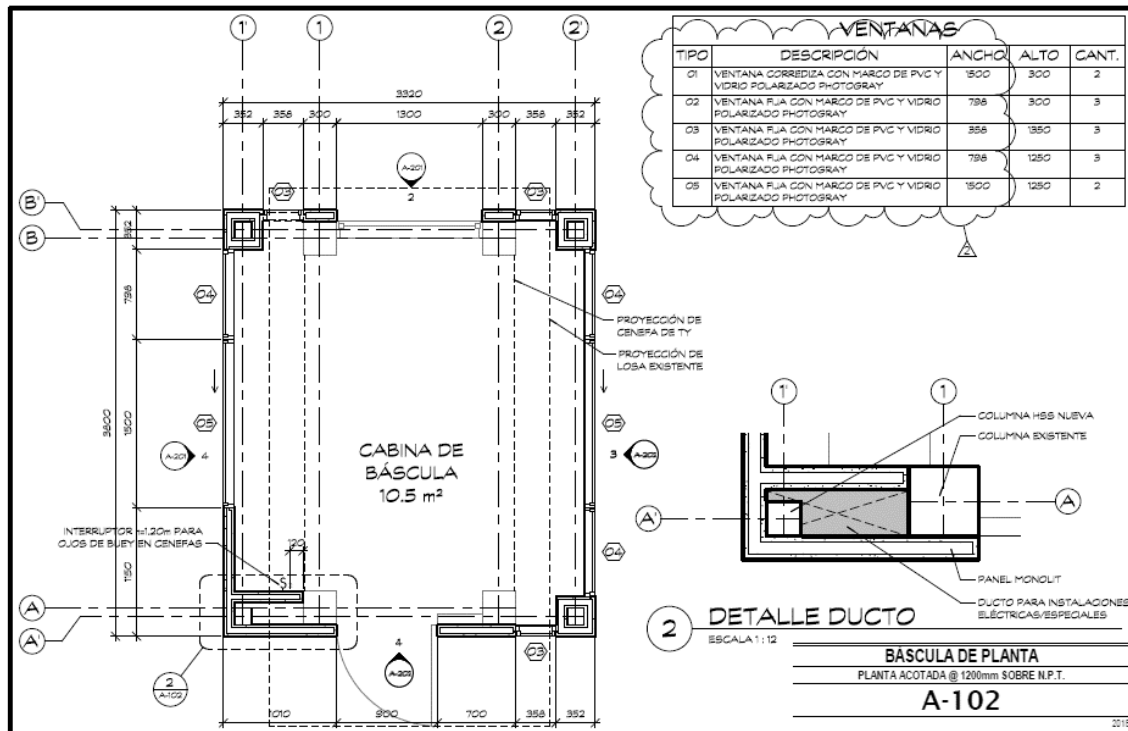
6.4.1. Planos constructivos

Durante la elaboración de los planos constructivos, cada aspecto del diseño, como se estableció durante la fase del diseño esquemático, se dibuja a escala y se especifica de forma adecuada. La coordinación con los consultores es clave en esta etapa para identificar y atender problemas potenciales y lograr que el diseño del proyecto quede bien establecido. McMorrough hace notar que la mayoría de los acuerdos propietario-diseñador estipulan que cualquier solicitud

de cambio importante realizada después del desarrollo de los planos constructivos debe ser parte de un acuerdo de servicios adicionales para compensar el tiempo que ha tomado documentar el proyecto hasta este punto.

McMorrough agrega que un set de planos constructivos contiene, como mínimo, un plano del sitio, planos de plantas, cielos reflejados, elevaciones exteriores e interiores, secciones, detalles interiores, cédulas de puertas y ventanas, acabados, y especificaciones escritas, así como los planos de ingeniería y otros consultores. La figura 31 presenta una planta acotada del juego de planos arquitectónicos finales del proyecto de ejemplo.

Figura 31. **Planta arquitectónica del proyecto**

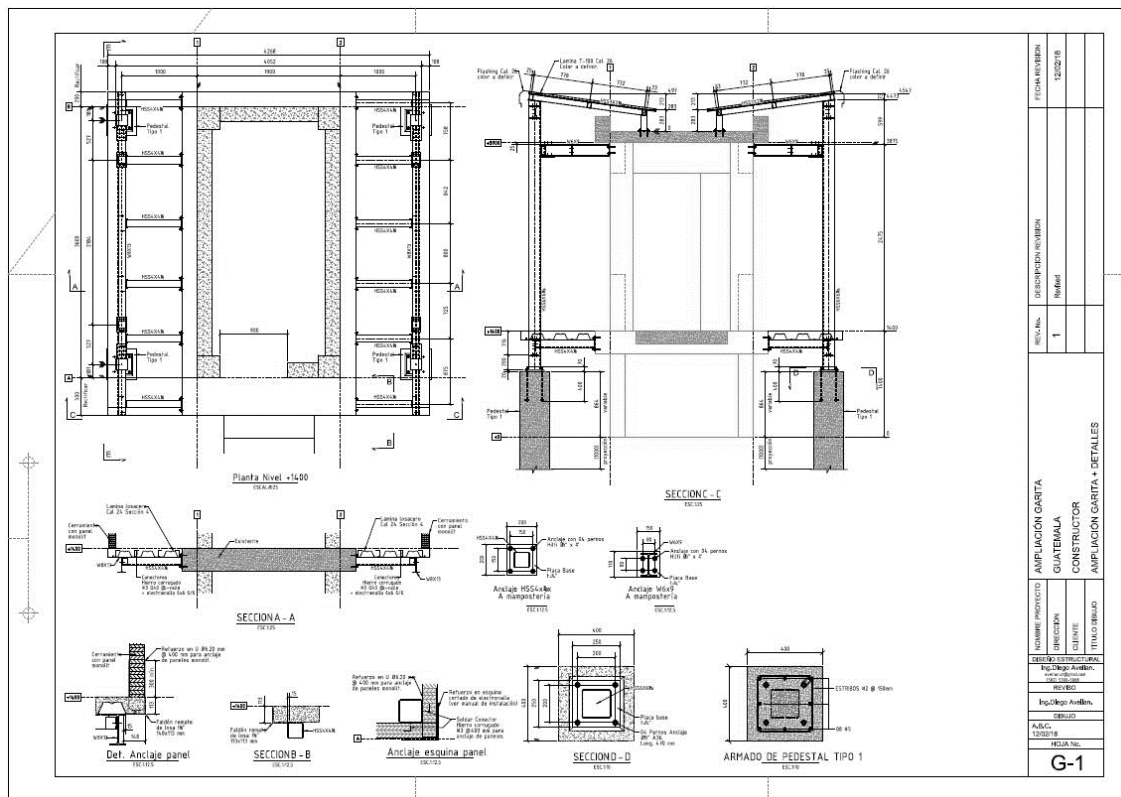


Fuente: elaboración propia.

Para el proyecto de ejemplo, la elaboración de los planos estructurales fue delegada a un especialista en estructuras quien, a partir del diseño esquemático, elaboró los planos para la estructura metálica que soportaría la remodelación.

La figura 32 presenta una de las hojas de los planos estructurales para la remodelación. En ella se aprecia una planta, una sección y un conjunto de detalles de la estructura. La selección de una armadura metálica para la estructura principal responde a la rapidez con que una estructura de este tipo puede ser montada comparada a la de una alternativa de concreto o mampostería.

Figura 32. Hoja de planos constructivos del proyecto



Fuente: AVELLÁN, Diego. *Ampliación de báscula*. Hoja G-1.

Considerando la configuración estructural propuesta y el diseño esquemático autorizado para el proyecto, los planos constructivos fueron completados con el nivel de detalle suficiente para cotizar, programar y ejecutar la construcción.

6.4.2. Especificaciones

Las especificaciones identifican el alcance del trabajo, nivel de calidad, tolerancia, inspección y ensayos, entre otros. “Son una herramienta importante para comunicar con suficiente detalle cómo, dónde y cuándo un objeto en particular debe fabricarse o construirse para satisfacer las necesidades del propietario”²². Las especificaciones son parte de los documentos de contrato y complementan el juego de planos constructivos.

La tabla XIII presenta las especificaciones para cada uno de los requerimientos formulados durante el proceso de definición de necesidad.

Tabla XIII. **Especificaciones para los objetivos y requerimientos**

Caso de ejemplo
Especificaciones
<ul style="list-style-type: none">• Optimizar la configuración del área de trabajo de los operadores de báscula.<ul style="list-style-type: none">○ Facilitar una estación de trabajo individual para cada operador.

²² ROBBINS, Ted E. *Especificaciones*. p. 3.1.

Continuación de la tabla XIII.

- Escritorio individual para cada operador, con espacio para colocación de monitor, teclado e impresora en la superficie de trabajo.
- Diseño con distancia mínima entre operador y ventanilla para cumplimiento del requerimiento 3.1. Consensuar diseño con interesados previo a fabricación.
- Instalar repisa nueva para reubicación del equipo de monitoreo y control de la báscula.
- Incluir desmontaje de mobiliario existente. La remoción del mismo estará a cargo del propietario.
- Las medidas deberán ser verificadas en el sitio después de concluidos los trabajos de obra gris, previo a fabricación.
- Redistribuir las ubicaciones de tomacorrientes y puntos de red para evitar saturación de cables e instalaciones provisionales.
 - Instalar nuevo tablero eléctrico en caso de que el existente no pueda ser aprovechado.
 - Reubicar circuito eléctrico y circuito de red sobre las nuevas paredes.

Continuación de la tabla XIII.

- Habilitar 4 tomacorrientes dobles regulados y dos tomacorrientes sencillos para equipo de servicio.
- Habilitar un tomacorriente para intemperie en lado exterior para pantalla de pesaje.
- Incluir evaluación preliminar de red actual para diseño de acometida y de los circuitos de iluminación y poder en general.
- Suministro de equipo para servicio del personal.
 - Suministrar dispensador de agua (oasis) con agua fría y caliente.
 - Suministrar cámara fría para resguardo de alimentos de los operadores.
 - Suministrar mobiliario para colocación de horno microondas.
- Cumplir con lo estipulado en el Reglamento de salud y seguridad ocupacional (Acuerdo Gubernativo 229-2014) en los artículos que apliquen a las condiciones generales y ambiente de trabajo.
 - Cumplimiento de área mínima de trabajo.

Continuación de la tabla XIII.

- Habilitar dos metros cuadrados libres por puesto de trabajo operativo por cada trabajador.
- Cumplimiento de condiciones de iluminación.
 - Garantizar 500 luxes mínimo en el área mediante instalación de luminarias adicionales a la existente.
- Agilizar las transacciones con los clientes para reducir los tiempos de cola.
 - Acercar ventanilla a clientes para evitarle al cliente el descenso de su unidad (camión)
 - Alinear sillar a plomo con el borde de la cuneta de la báscula.
 - Habilitar visual a cola de clientes mediante incorporación de ventanas frontales y posteriores.
 - Ventanas de PVC con polarizado reflectivo, vidrio de 3 mm.
 - Ventanas existentes conservar dimensiones.
 - Modificar ventanilla para facilitar cierre y apertura durante las transacciones.
 - Ventana corrediza de PVC con polarizado reflectivo, vidrio de 3 mm en cada lado.

Continuación de la tabla XIII.

- Optimizar los recursos para ejecutar el proyecto al menor costo posible para no afectar las metas de ahorro de la compañía.
 - Aprovechar recursos existentes en planta para reducción de costos (instalaciones, soldadoras, energía eléctrica, combustible).
 - Suministro de soldadora y combustible por parte del propietario.
 - Suministro de energía eléctrica por parte del propietario.
 - Se habilitarán instalaciones en planta para bodega de materiales y taller de soldadura.

Fuente: elaboración propia.

6.4.2.1. Exclusiones

Incluir un apartado de exclusiones dentro de las especificaciones permite “establecer explícitamente lo que está fuera del alcance del proyecto”²³, para generar expectativas claras entre los interesados. Incluir exclusiones dentro de la definición del proyecto es de mucha utilidad especialmente cuando se contemplan situaciones que puedan generar duda o ambigüedad en cuanto a su inclusión dentro del alcance de los trabajos. En la tabla XIV se detallan las exclusiones para el proyecto de ejemplo que se ha venido desarrollando.

²³ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 124.

Tabla XIV. **Exclusiones del proyecto**

Caso de ejemplo
Exclusiones
<ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="315 506 1425 705">• Se excluye la contratación o delegación de un tercero para supervisión del proyecto por parte del gerente del proyecto. La supervisión de los trabajos en campo será responsabilidad directa del jefe de planta como delegado del propietario para esta actividad.<li data-bbox="315 774 1425 974">• Se excluye del alcance cualquier trabajo relacionado con el equipo de operación de la báscula propiamente dicha: controles, tableros, cables, entre otros. En caso de necesidad de alterar la configuración de este sistema, el trabajo deberá ser asumido por el personal de planta.<li data-bbox="315 1043 1425 1243">• Se excluye cualquier trabajo en las estructuras anexas a la cabina de operación de báscula. Esto se refiere principalmente al área sin uso que se encuentra directamente debajo de la cabina y que constituye un primer nivel de esta.<li data-bbox="315 1312 1425 1457">• Se excluye del presupuesto la compra de algún otro equipo fuera de los detallados en las especificaciones. Cualquier equipo extra que sea requerido, deberá ser cotizado como un adicional.<li data-bbox="315 1526 1425 1780">• Se excluye del alcance la evaluación del circuito eléctrico actual y las modificaciones necesarias para adaptarse a la configuración propuesta. Cualquier trabajo de esta naturaleza deberá ser subcontratado a un especialista en caso de que el personal técnico de planta no esté en la capacidad o disponibilidad de poder realizar estas tareas.

Fuente: elaboración propia.

6.4.2.2. Restricciones

Las restricciones son factores limitantes, internos o externos, que afectan la ejecución del proyecto como, por ejemplo, un presupuesto determinado o cualquier fecha o hitos del cronograma impuesto por el propietario.

La tabla XV presenta una lista de restricciones para el caso de ejemplo.

Tabla XV. **Restricciones del proyecto**

Caso de ejemplo
Restricciones
<ul style="list-style-type: none">• No se debe interrumpir la operación de la báscula durante los horarios regulares de atención a clientes.• Trabajos de demolición, construcción y montaje en el área de cabina o báscula, así como aquellos trabajos que requieran interrupción de corriente eléctrica, deberán realizarse fuera del horario de atención a clientes.• Trabajos de fabricación, soldadura en taller, pintura en taller, pintura en cabina y todo trabajo que no requiera de la interrupción de las operaciones ni represente un riesgo para los operadores, el contratista o los clientes, podrá ser realizado en cualquier día de la semana en horario de 7:00 a 17:00 horas.• El costo final del proyecto no deberá superar en un 15 % la línea base del presupuesto. Este valor responde a las políticas de los procesos de compra de servicios de la empresa.

Continuación de la tabla XV.

- Se deberá contar con permiso de trabajo previo a realizar cualquier actividad de trabajo en altura, en caliente (soldadura o corte) o que requiera el uso de equipo de alzado (grúa, polea, entre otros).
- Se deberá contar con un encargado de salud y seguridad ocupacional, S&SO, en todo momento para verificar las condiciones y ejecución segura de los trabajos según normativos del propietario y buenas prácticas de la industria.

Fuente: elaboración propia.

6.4.2.3. Supuestos

La guía del PMBOK, quinta edición, describe los supuestos como “factores[...] que se consideran verdaderos, reales o seguros sin pruebas ni demostraciones. También describen el impacto potencial de dichos factores en el caso de que fueran falsos”²⁴. Por esta razón, cada supuesto debe estar asociado a un riesgo en caso de no cumplirse.

La tabla XVI presenta los supuestos para el proyecto de ejemplo. En la primera columna se detalla el supuesto y en la segunda se refieren los riesgos que podrían presentarse en caso de que el supuesto fuera falso. La definición de supuestos coadyuvará en la definición clara de los alcances del proyecto, ya que en el proceso de su análisis se presenta la oportunidad de clarificar dudas entre los miembros del equipo y los interesados del proyecto.

²⁴ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 124.

Tabla XVI. **Supuestos del proyecto**

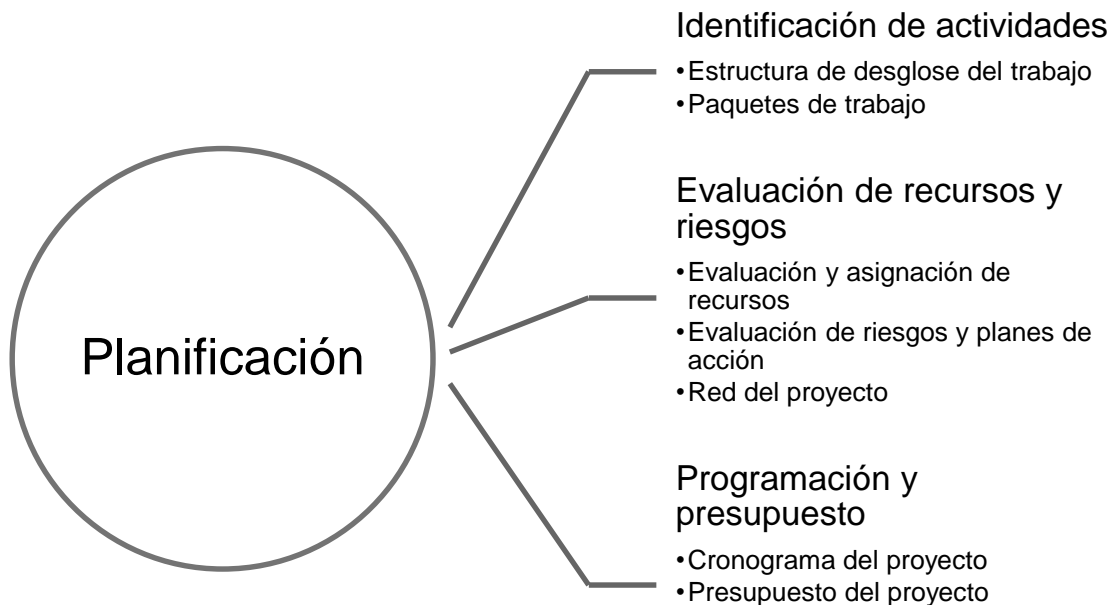
Caso de ejemplo	
Supuesto	Riesgos en caso de no cumplirse
<ul style="list-style-type: none"> • La supervisión en sitio será responsabilidad del jefe de planta de turno, como delegado del propietario a través de su gerente en planta. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de control en la calidad de la ejecución de los trabajos. • Incumplimiento de cronograma. • Entregables insatisfactorios.
<ul style="list-style-type: none"> • Se contará en todo momento con el soporte de un encargado de planta para realizar los permisos de trabajo cuando el contratista así lo requiera. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retraso en cronograma. • Reclamo de contratista ejecutor. • Gastos por reclamos.
<ul style="list-style-type: none"> • Se dispondrá del área de trabajo a partir de sábados al mediodía y domingos el día completo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Retraso en cronograma. • Reclamo de contratista ejecutor. • Gastos por reclamo.
<ul style="list-style-type: none"> • El cableado eléctrico del circuito actual se encuentra distribuido a través de ductos en las paredes de la oficina de báscula. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gastos adicionales asociados a instalación de un nuevo circuito • Retraso en cronograma por obtención de especialista.
<ul style="list-style-type: none"> • El suelo cuenta con la capacidad de soporte adecuada para cimentación de los marcos estructurales de la remodelación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gastos por modificación a la estructura de cimentación. • Retraso en el cronograma.

Fuente: elaboración propia.

7. PLANIFICACIÓN CON IMPLEMENTACIÓN DEL PMBOK

Clough, Sears y Sears indican que la planificación de las operaciones de construcción implica la determinación de lo que debe realizarse, cómo debe realizarse, y el orden en que se debe proceder. Dentro de la planificación se estiman los recursos necesarios para los trabajos, se desarrolla la programación y el presupuesto, y se evalúan los riesgos asociados a las actividades para preparar planes de acción. La figura 33 ilustra los procesos de esta fase.

Figura 33. **Procesos de planificación**



Fuente: elaboración propia.

7.1. Identificación de actividades

Para secuenciar las actividades, es necesario primero descomponer el proyecto en bloques más pequeños hasta llegar a las actividades mismas. El primer paso dentro de este proceso consiste en elaborar lo que en gestión de proyectos se conoce como estructura de desglose del trabajo.

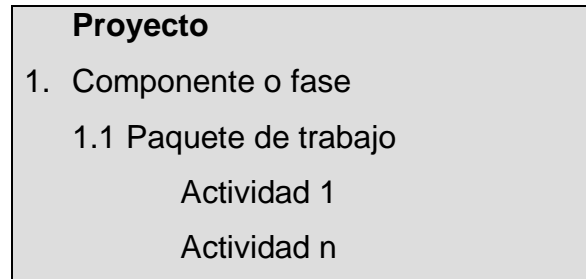
7.1.1. Estructura de desglose del trabajo

La estructura de desglose del trabajo, o EDT por sus siglas, es una subdivisión del trabajo del proyecto en componentes más pequeños y fáciles de manejar. La EDT describe el trabajo necesario para crear los entregables del proyecto que darán cumplimiento a los requisitos previamente determinados. Cada nivel descendente de la EDT representa una definición más detallada del trabajo del proyecto. En construcción, es común que el primer nivel esté conformado por las fases del proyecto, por sus componentes mayores o especialidad y que el último nivel esté conformado por los componentes mismos de la obra física. Las actividades representan las acciones necesarias para conformar cada uno de estos componentes físicos.

Una estructura de desglose del trabajo puede presentarse como una lista jerárquica o como un diagrama de descomposición gráfica, similar a un diagrama organizacional. Richman agrega que cada nivel de la EDT está orientado hacia grupos de entregables y se completa sólo cuando se completan todos sus elementos de trabajo subordinados.

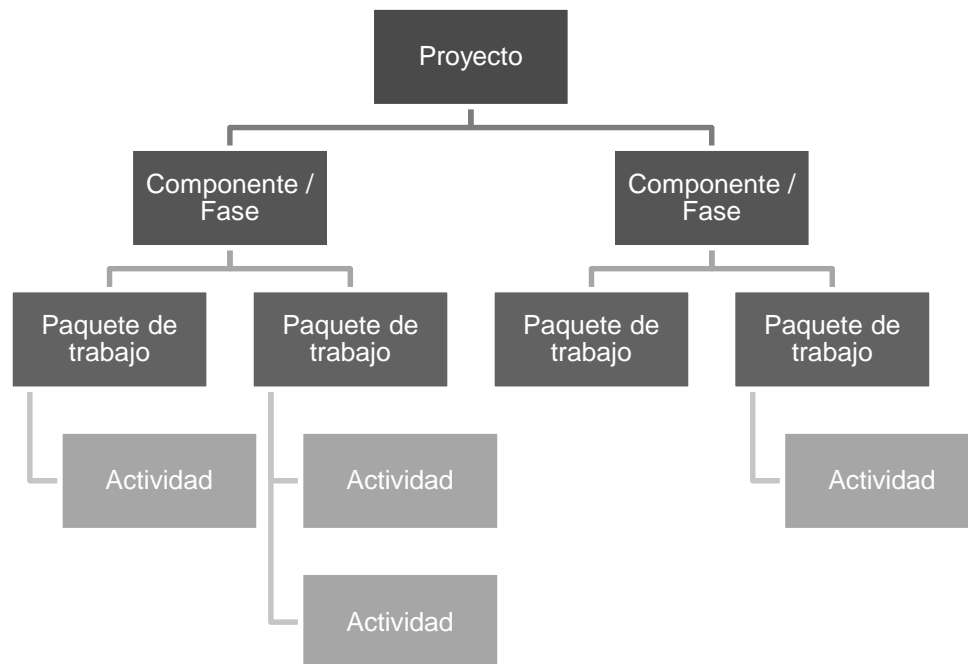
En las figuras 34 y 35 se ilustra la descomposición de la EDT en forma de lista y de esquema gráfico, respectivamente.

Figura 34. **EDT en forma de lista**



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. **Esquema gráfico de una EDT**



Fuente: elaboración propia.

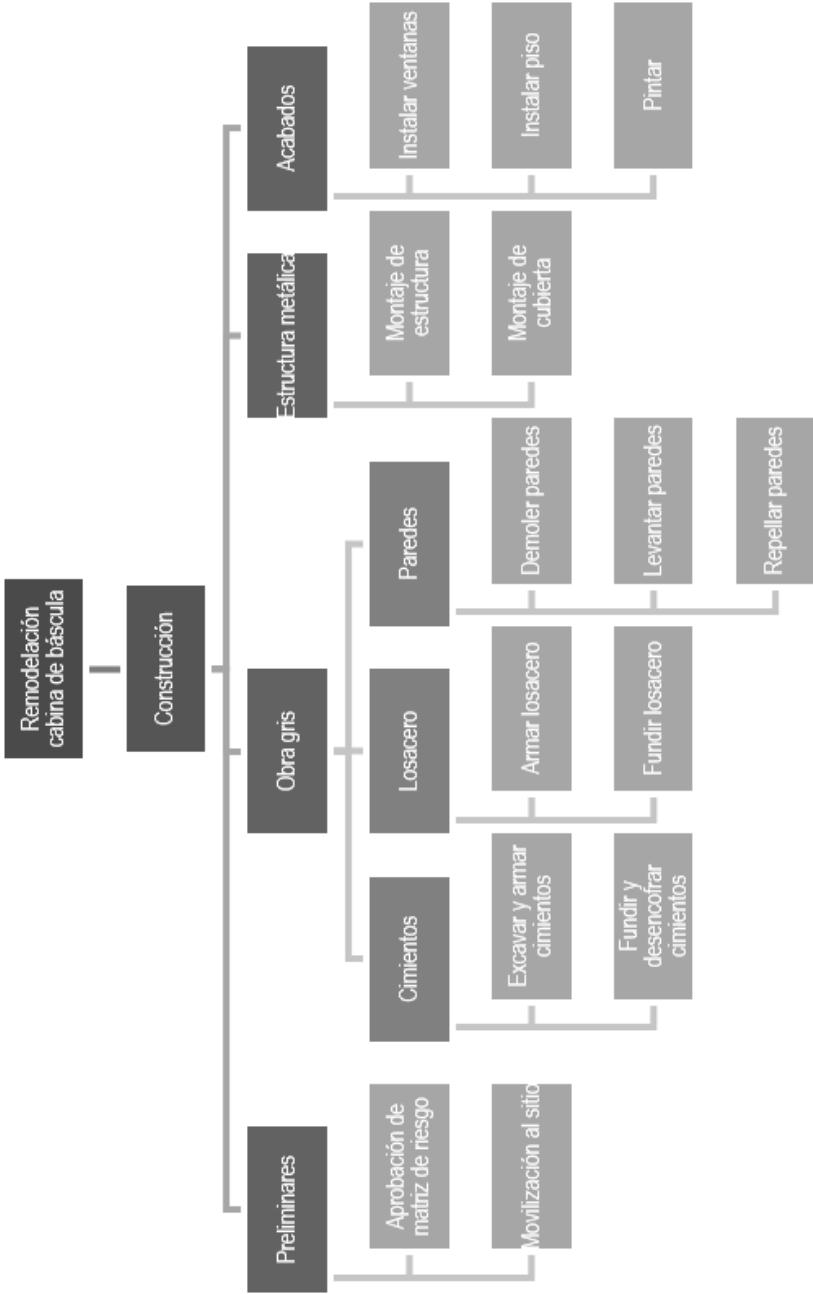
7.1.1.1. **Consideraciones al crear una EDT**

Al crear una estructura de desglose del trabajo, Richman sugiere tener los siguientes aspectos en mente:

- Empezar la descomposición con alguna categoría que haga sentido para el proyecto, como los componentes, fases, áreas geográficas, entre otros.
- El diagrama no necesariamente representa una secuencia lógica de los eventos, por lo que la secuencia no debe constituir una restricción en este momento.
- El diagrama, no debe ser necesariamente simétrico. El número de niveles puede variar de una rama a otra. Cada rama debe ser descompuesta hasta el número de niveles necesarios para definir el proyecto.
- Cada rama debe terminar en un entregable, medible y definible en términos del resultado final.
- Las cajas en el nivel más bajo se llaman paquetes de trabajo. Representan el nivel más bajo de detalle que se desea estimar, programar, y controlar.
- Cada paquete de trabajo puede ser dividido en actividades específicas. Las actividades son pequeños bloques de trabajo, asignables a una persona o equipo, que consumen tiempo, recursos y dinero.
- Si, durante el curso de la secuenciación y la programación de las actividades, se determina que es necesario definir actividades adicionales, estas deben agregarse a la EDT.

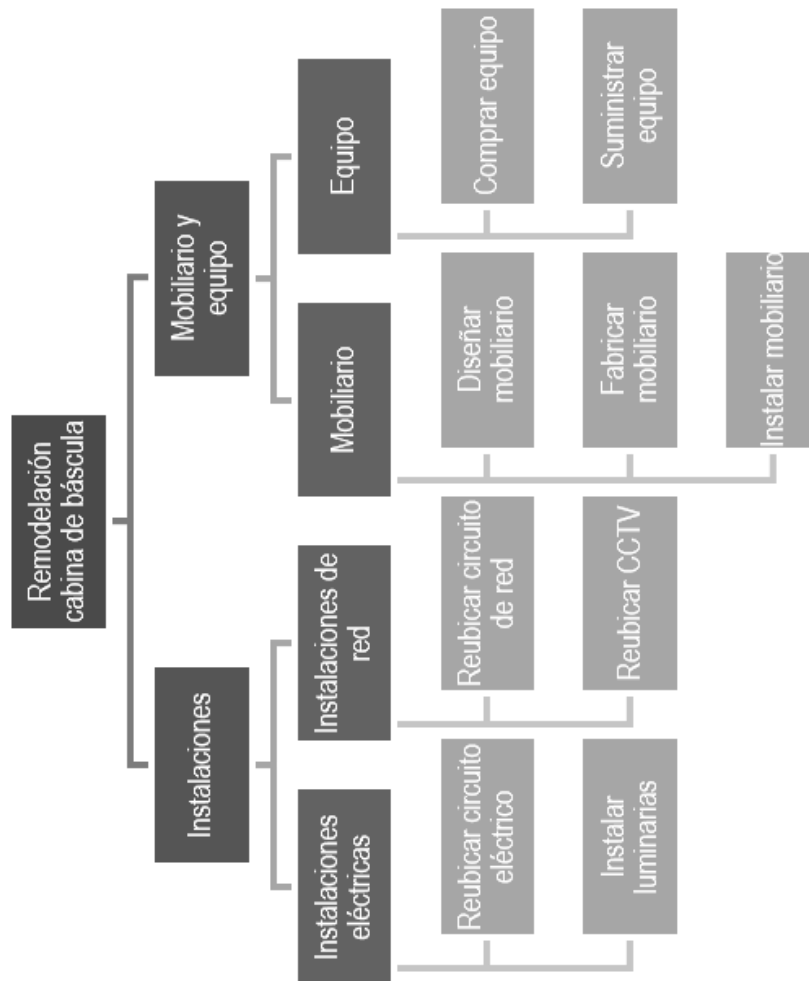
En las figuras 36 y 37 se muestra la estructura de desglose del trabajo para el proyecto de ejemplo, separada en dos partes en función de los componentes principales de la obra (la separación se realiza para facilitar su lectura en este ejemplo en particular).

Figura 36. EDT proyecto de ejemplo: construcción



Fuente: elaboración propia.

Figura 37. EDT proyecto de ejemplo: instalaciones, mobiliario y equipo



Fuente: elaboración propia.

El primer nivel de descomposición de cada EDT está conformado por estos componentes; en el siguiente nivel, cada uno de estos se subdivide en los paquetes de trabajo sobre los cuales se llevará un control directo de la programación y del presupuesto. Debajo de cada paquete de trabajo se incluyen las actividades que lo conforman. Se observa que para el caso del componente obra gris, se incluye una descomposición adicional en paquetes de trabajo más específicos. En la figura 38 se presenta la EDT completa en forma de lista jerárquica.

Figura 38. **EDT completa en formato de lista**

Caso de ejemplo
EDT del proyecto
Remodelación cabina de báscula
1. Construcción
1.1. Preliminares
1.2. Obra gris
1.2.1. Cimientos
1.2.2. Losacero
1.2.3. Paredes
1.3. Estructura metálica
1.4. Acabados
2. Instalaciones
2.1. Instalaciones eléctricas
2.2. Instalaciones de red
3. Mobiliario y equipo
3.1. Mobiliario
3.2. Equipo

Fuente: elaboración propia.

7.1.1.2. Nivel de detalle

Clough, Sears y Sears mencionan que las actividades pueden representar segmentos relativamente grandes de un proyecto o pueden limitarse a pequeños pasos. Por ejemplo, una pared de concreto armado puede ser una sola actividad, o puede descomponerse en armado, encofrado, fundición y curado. El nivel de detalle debe ser apropiado para el proyecto en particular y ser capaz de producir reportes a diferentes niveles según requerimientos de los interesados. Clough, Sears y Sears agregan que muy poco detalle limitará la eficacia de planificación y control; demasiado detalle inundará al gerente del proyecto con datos voluminosos que tienden a oscurecer los factores significativos y aumentar innecesariamente el costo de gestión. Como regla general, el gerente del proyecto debe programar con el mismo nivel de detalle con que planea ejercer control.

7.1.2. Paquetes de trabajo

Richman puntualiza que cada paquete de trabajo debe producir algún entregable. Por lo tanto, cuando se crea una EDT para el proyecto, implícitamente se genera una lista de actividades y un índice de entregables. Cada entregable tiene estándares de calidad asociados. Incluir estos estándares dentro de la descripción de cada actividad resultará beneficioso para la consulta y revisión de los criterios de aceptación para las tareas.

La tabla XVII presenta una plantilla sugerida para la definición de los criterios de aceptación para las actividades de cada paquete de trabajo. El consolidado de plantillas con la información de todos los paquetes de trabajo y actividades del proyecto se conoce como diccionario de la EDT.

Tabla XVII. **Plantilla para definición del paquete de trabajo**

EDT	
Paquete de trabajo	
Responsable del paquete	
Descripción	
Actividades	Criterios de aceptación
Documentos de referencia	

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XVIII se presenta una muestra de la utilización de esta plantilla para el caso de ejemplo.

Tabla XVIII. **Definición del paquete de trabajo y sus actividades**

Caso de ejemplo	
EDT	1.2.1
Paquete de trabajo	Cimientos
Responsable del paquete	Contratista general
Descripción	
Excavación, armado y fundición de zapatas y pedestales para soporte de los marcos estructurales.	
Actividades	Criterios de aceptación
Excavar y armar cimientos	Excavación del terreno y ubicación de las armaduras en su sitio. Encofrado para cada uno de los pedestales listo para recibir concreto.
Fundir y desencofrar cimientos	Fundición de las zapatas y pedestales con las especificaciones requeridas. Curado mínimo de siete días y desencofrado posterior de las bases.

Continuación de la tabla XVIII.

Documentos de referencia AG-18-01_Planos. pdf / plano G1

Fuente: elaboración propia.

7.2. Evaluación de recursos y riesgos

Para complementar la información de los paquetes de trabajo, se deben evaluar los recursos y riesgos asociados a las actividades de este, e incluirlos dentro de la definición de cada uno. Esto se realiza con el propósito de contar con una visión general de las tareas implicadas en su ejecución.

7.2.1. Evaluación y asignación de recursos

Evaluar los recursos de las actividades es el proceso de estimar el tipo y la cantidad de insumo requerido para ejecutar cada actividad. Esto permitirá estimar, con mayor certidumbre, el costo y la duración de las actividades del proyecto durante la programación y presupuestación del proyecto.

7.2.1.1. Tipos de recursos

En la siguiente lista se describen los recursos más comunes para proyectos de construcción:

- Recursos humanos. El equipo dirigiendo el proyecto, así como el equipo que ejecuta la construcción propiamente dicha (personal operativo).

- Maquinaria. Usadas en reemplazo del trabajo humano directo para ejecutar actividades de construcción. La maquinaria es también llamada equipo. Ejemplos de maquinaria son las grúas, camiones, excavadoras.
- Herramienta. Elementos usados por el recurso humano para mejorar su capacidad de realizar directamente las actividades de construcción. Ejemplos de herramientas son las palas, martillos, entre otros.
- Equipo permanente. Equipo instalado como parte de las instalaciones que están siendo construidas. Ejemplos de equipo permanente son las bombas, compresores, generadores eléctricos, entre otros.
- Materiales a granel. Por el uso de estos materiales en diferentes partes de las instalaciones, son controlados en cantidades a granel como metros, kilos, quintales, entre otros. Ejemplos de materiales a granel son el acero, el cemento, los cables eléctricos, tubería, entre otros.
- Materiales de consumo. Materiales que son aplicados en las actividades y proceso de construcción y que son consumidos como parte del trabajo en grandes cantidades. Ejemplos de estos materiales son los electrodos de soldadura, gases industriales, mascarillas de polvo, clavos, tornillos, combustibles.
- Recursos de consumo. La energía eléctrica y el agua son utilizadas en actividades y procesos de construcción de forma similar a los materiales de consumo, pero son diferenciados porque se administran de forma distinta.
- Instalaciones temporales. El campamento, las bodegas, talleres de maquinaria y otras estructuras temporales construidas para acomodar al

equipo del proyecto y otros recursos, así como todo el equipo necesario para su funcionamiento, como muebles y computadoras.

El gerente del proyecto de construcción debe estar familiarizado con estos recursos y trabajar con el equipo del proyecto en la identificación de las demandas de recursos que cada actividad pueda presentar, asegurado de esta forma que la necesidad esté prevista.

El gerente del proyecto debe también asegurar que los tiempos y costos a incluirse dentro de la programación y presupuesto estén en consonancia con los tipos de recurso planificados. Por ejemplo, el costo y duración de una actividad de fundición varía significativamente si para esta se considera utilizar concreto premezclado o si se considera utilizar concreto preparado en el sitio.

7.2.1.2. Asignación de recursos a las actividades

Los recursos requeridos para las actividades consisten en los tipos y las cantidades de recursos necesarios para completar un paquete de trabajo. Estos pueden ser incluidos en la descripción de cada paquete de trabajo incorporando este campo a la plantilla presentada en el capítulo 7.1.2.

La tabla XIX presenta la inclusión de los recursos necesarios para la actividad en la definición del paquete de trabajo cimientos del proyecto de ejemplo.

Tabla XIX. Asignación de recursos en el paquete de trabajo

Caso de ejemplo	
EDT	1.2.1
Paquete de trabajo	Cimientos

Continuación de la tabla XIX.

Responsable del paquete	Contratista general
Descripción	
Actividades	Criterios de aceptación
Excavar y armar cimientos	
Fundir y desencofrar cimientos	
Documentos de referencia	
Recursos necesarios	
<ul style="list-style-type: none"> • Despacho de concreto premezclado. • Personal y equipo de colocación de concreto. • Señalización de seguridad y restricción temporal del acceso. 	

Fuente: elaboración propia.

7.2.2. Evaluación de riesgos y planes de acción

La evaluación de los riesgos asociados a cada uno de los paquetes de trabajo del proyecto y la formulación de los planes de acción necesarios para enfrentarlos, permitirá contemplar los costos asociados a estos planes dentro del presupuesto y realizar modificaciones al cronograma en caso se determine que el plan original resulta inviable o demasiado riesgoso.

Como primer paso dentro de la evaluación de riesgos, se deben identificar y ponderar, en función de probabilidad de ocurrencia e impacto, los riesgos del proyecto para después planificar las respuestas a estos mediante la estrategia que se considere más eficaz y viable. En los párrafos siguientes se describen ambos procesos.

7.2.2.1. Identificación de riesgos

Identificar los riesgos, es el proceso de determinar los factores que pueden afectar a alguno de los paquetes de trabajo o actividades del proyecto y documentar sus características. Esto confiere al equipo del proyecto conocimiento y capacidad para anticipar eventos.

En los proyectos de construcción, los siguientes riesgos son probables, entre otros muchos:

- Condiciones imprevistas del sitio
- Condiciones climáticas adversas
- Cambios al diseño constructivo (planos de construcción)
- Cambios en el alcance del proyecto
- Reclamos del propietario, diseñadores, o inspectores
- Incidentes laborales

Un resumen de los riesgos más comunes a los proyectos de construcción, según se detallan dentro del apéndice X3 de la extensión para la construcción de la guía PMBOK, se puede encontrar en el apéndice de este trabajo.

Se sugiere incluir los riesgos asociados al paquete de trabajo dentro de la definición del mismo, incorporándolos a la plantilla presentada en la tabla XVI. De esta forma, el gerente del proyecto podrá encontrar en un mismo documento toda la información relativa al paquete de trabajo durante las etapas subsecuentes de planificación y durante el desarrollo del proyecto en general.

La tabla XX presenta la inclusión de los riesgos a la definición del paquete de trabajo.

Tabla XX. **Inclusión de los riesgos asociados al paquete de trabajo**

Caso de ejemplo	
EDT	1.2.1
Paquete de trabajo	Cimientos
Responsable del paquete	Contratista general
(Otros campos)	
Riesgos	Respuesta
Capacidad de soporte del suelo de cimentación insuficiente para las demandas de carga.	
Posible ubicación de cimentación preexistente en los puntos proyectados para nueva cimentación.	
Posible necesidad de fundición en horarios extraordinarios.	

Fuente: elaboración propia.

7.2.2.2. Planificación de las respuestas a los riesgos

La planificación de las respuestas a los riesgos consiste en “desarrollar opciones y acciones para reducir las amenazas a los objetivos del proyecto”²⁵. Las respuestas a los riesgos deben adecuarse a la importancia del riesgo, ser rentables con relación al desafío a cumplir y realistas dentro del contexto del proyecto. Existen varias estrategias de respuesta a los riesgos. Para cada riesgo, se debe seleccionar la estrategia o la combinación de estrategias con mayor probabilidad de eficacia.

A continuación, se presenta una lista de respuestas posibles²⁶:

²⁵ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 342.

²⁶ *Ibíd.* p. 344.

- Evitar. El equipo del proyecto actúa para eliminar la amenaza o para proteger al proyecto de su impacto. Por lo general, implica cambiar el plan del proyecto. Ejemplos de evitar son: la ampliación del cronograma, el cambio de estrategia o la reducción del alcance. La estrategia de evasión más drástica consiste en anular por completo el proyecto.
- Transferir. El equipo del proyecto traslada el impacto de una amenaza a un tercero, junto con la responsabilidad de la respuesta. La transferencia de la responsabilidad de un riesgo es más eficaz cuando se trata de la exposición a riesgos financieros. Las herramientas de transferencia pueden ser bastante diversas e incluyen, entre otras, el uso de seguros, garantías de cumplimiento, fianzas, certificados de garantía, entre otros.
- Mitigar. El equipo del proyecto actúa para reducir la probabilidad de ocurrencia o impacto de un riesgo. Ejemplos de acciones de mitigación pueden ser la selección de un proveedor más confiable o con mayor experiencia; la realización de un estudio de impacto ambiental, en el que se evalúa si el proyecto se hace cargo de los efectos que genera; la adopción de prácticas seguras de trabajo, como la normalización del uso de equipo de protección personal, entre otros.
- Aceptar. El equipo del proyecto decide reconocer el riesgo y no tomar ninguna medida a menos que el riesgo se materialice. Esta estrategia se adopta cuando no es posible ni rentable abordar un riesgo específico de otra manera.

Richman concluye que planificar con anticipación permite analizar cuidadosamente las diferentes opciones y determinar el mejor curso de acción, previniendo al gerente del proyecto de tomar una decisión apresurada que quizá no sea la más adecuada.

En la tabla XXI se incorporan las respuestas a los riesgos identificados para el paquete de trabajo cimentación del proyecto de ejemplo.

Tabla XXI. **Inclusión de las respuestas a los riesgos identificados**

Caso de ejemplo	
EDT	1.2.1
Paquete de trabajo	Cimientos
(Otros campos)	
Riesgos	Respuesta
Posible ubicación de cimentación preexistente en los puntos proyectados para nueva cimentación.	Evitar. En caso de encontrarse con cimentación preexistente, se modificará el diseño estructural para reubicar las cimentaciones nuevas.
Posible necesidad de fundición en horarios extraordinarios para el despacho de concreto premezclado.	Transferir. Se programará el servicio con antelación para garantizar despacho.

Fuente: elaboración propia.

7.2.2.3. Planificación de la salud y seguridad ocupacional

En todo proyecto de construcción existen altos niveles de riesgo en cuanto a la seguridad del personal del proyecto y también de las personas en las cercanías o periferia de la obra. Los procesos de salud y seguridad incluyen todas las actividades para garantizar que el proyecto se planifique y ejecute de manera que se eviten accidentes y lesiones personales, muertes o daños a la propiedad. El gerente del proyecto debe asegurarse de que exista un plan de salud y seguridad, PSS por sus siglas, previo a iniciar la obra, y de que este sea implementado a través de las políticas y los procesos de planificación,

aseguramiento y control, realizando actividades de verificación y mejora continua a lo largo del proyecto.

La Cámara Guatemalteca de la Construcción, a través del Programa S&SO Sector Construcción, presenta una guía para elaboración del plan de salud y seguridad para el sector construcción, accesible a través de un hipervínculo en su página web. Esta guía incluye “las actividades que regularmente se realizan en una construcción, indicando las medidas de prevención de los riesgos que estas conllevan”²⁷. La guía incluye un listado de los riesgos a la salud y seguridad que se pueden presentar en un proyecto de construcción durante sus distintas etapas. Una inspección detallada a este documento por parte del equipo del proyecto, permitirá tomar en consideración distintas medidas de prevención y mitigación e incluirlas dentro de las actividades programadas. La figura 39 presenta un extracto de los anexos de la guía mencionada.

Figura 39. **Listado de riesgos de la construcción (extracto)**

Limpieza de terreno y movimiento de tierra.				
¿A quién aplica?	Actividades	Principales riesgos	Tipo de riesgo	Medidas preventivas
	Limpieza de terreno	Heridas por herramienta cortante y desechos.		Identificación de centros de salud cercanos, dotación y uso de EPP (zapato de seguridad, lentes, ropa de trabajo y guantes)
		Mordidas de roedores, picaduras de insectos		
		Proyección de partículas en los ojos.		
		Sobrecarga física – esfuerzo		Dotación de agua potable en recipientes higiénicos.
				Permitir pausas de descanso.

Fuente: Cámara Guatemalteca de la Construcción. *Guía para la elaboración del plan de salud y seguridad para el sector construcción*. p. 17.

²⁷ Cámara Guatemalteca de la Construcción. *Guía para la elaboración del plan de salud y seguridad para el sector construcción*. p. 1.

7.2.2.3.1. Salud

La salud física y mental para los proyectos de construcción generalmente incluye varias políticas y controles para mantener un sitio limpio y saludable. Es de considerar que los proyectos de construcción son susceptibles a ciertos factores de riesgo particulares, tales como un ambiente de trabajo cambiante, locaciones desconocidas, personal transitorio, entre otros. Algunos métodos para mantener un sitio saludable incluyen:

- Detección de drogas y alcohol.
- Hojas de seguridad de materiales (MSDS).
- Control de polvo y medidas de control de ruido.
- Instalaciones médicas en el lugar (incluye equipo portátil como una estación de lavado de ojos, ducha de emergencia, entre otros).
- Limitaciones de horas de trabajo.
- Controles de salud regulares y condiciones de trabajo higiénicas.
- Provisión de personal capacitado en primeros auxilios.

7.2.2.3.2. Seguridad ocupacional

La seguridad debe ser una prioridad no solo en el sitio de trabajo sino en todos los niveles de la organización. Garantizar la seguridad en el entorno de la construcción requiere prácticas y procedimientos de trabajo efectivos y seguros, con un enfoque prioritario en actividades de alto impacto y riesgo.

A continuación, se describen algunas de estas prácticas:

- Verificación y validación de que el equipo de protección personal, EPP, es apropiado y está en buenas condiciones para la actividad requerida.
- Preparación previa del sitio (análisis de peligros, familiarización entre otros).
- Entrenamiento continuo.
- Verificación de salvaguardas.
- Comprobación periódica herramientas y equipos.
- Cumplimiento del plan de salud y seguridad, PPS.
- Supervisores de seguridad en el sitio.

7.2.2.3.3. Seguridad del sitio

La seguridad del sitio se interpretará como la prevención de robo y vandalismo en el sitio y protección al personal del proyecto. La extensión para la construcción de la guía PMBOK describe un sitio de trabajo seguro como aquel que permite únicamente el acceso autorizado a las zonas de construcción y mantiene la seguridad de las instalaciones y los terrenos durante y, particularmente, fuera de los horarios de construcción. Algunas opciones para asegurar un área de trabajo de construcción son:

- Puertas de seguridad y vallas
- Barreras de tráfico

- Guardias de seguridad
- Seguridad remota (cámaras, sensores, entre otros)
- Iluminación del sitio

7.2.2.3.4. Medio ambiente

Cada proyecto de construcción se ubica en un sitio con un conjunto único de factores ambientales que requieren de análisis y planificación previo al inicio de la construcción. El estudio de impacto ambiental, EIA por sus siglas, es un método comúnmente aceptado para el análisis y mitigación de estos factores y en algunos proyectos es requerimiento mandatorio para la concesión de licencias de construcción. Algunos de los aspectos medioambientales a tomar en consideración, son los siguientes:

- Reciclaje / gestión de residuos
- Manejo de residuos peligrosos
- Control acústico
- Impactos ambientales
- Drenaje del sitio
- Control de polvo
- Requisitos de permisos del gobierno

En la tabla XXII se presenta el registro completo de información del paquete de trabajo cimentación, como ejemplo. El consolidado de esta información para todos los paquetes de trabajo del proyecto recibe el nombre de diccionario de la EDT. La importancia del diccionario de la EDT radica en constituir un referente estructurado de información importante para cada actividad, que puede ser consultado por el equipo del proyecto durante la elaboración del cronograma y del presupuesto y durante el desarrollo de los trabajos de construcción.

Tabla XXII. **Componente completo del diccionario de la EDT**

Caso de ejemplo	
EDT	1.2.1
Paquete de trabajo	Cimientos
Responsable del paquete	Contratista general
Descripción	
Excavación, armado y fundición de zapatas y pedestales para soporte de los marcos estructurales.	
Actividades	Criterios de aceptación
Excavar y armar cimientos	Excavación del terreno y ubicación de las armaduras en su sitio. Encofrado para cada uno de los pedestales listo para recibir concreto.
Fundir y desencofrar cimientos	Fundición de las zapatas y pedestales con las especificaciones requeridas. Curado mínimo de siete días y desencofrado posterior de las bases.
Documentos de referencia	
AG-18-01_Planos. pdf / plano G1	
Recursos necesarios	
<ul style="list-style-type: none"> • Despacho de concreto premezclado. • Personal y equipo de colocación de concreto. • Señalización de seguridad y restricción temporal del acceso. 	
Riesgos operativos	Respuesta
Posible ubicación de cimentación preexistente en los puntos proyectados para nueva cimentación.	Evitar. En caso de encontrarse con cimentación preexistente, se modificará el diseño estructural para reubicar las cimentaciones nuevas.
Posible necesidad de fundición en horarios extraordinarios para el despacho de concreto premezclado.	Transferir. Se programará el servicio con antelación para garantizar despacho.

Fuente: elaboración propia.

7.2.3. Red del proyecto

El siguiente paso en la planificación consiste en elaborar la red del proyecto. La red del proyecto es una representación gráfica del plan de trabajo creada a partir de la identificación de las relaciones entre actividades. Para los proyectos de construcción, es usual implementar el método de diagramación por precedencia para elaborar la red del proyecto. El método se describe a continuación.

7.2.3.1. Diagramación por precedencia

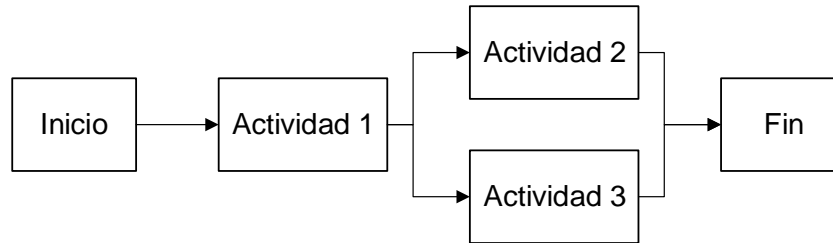
La diagramación por precedencia “es una técnica utilizada para construir un modelo de programación en el cual las actividades se representan mediante nodos y se vinculan gráficamente mediante una o más relaciones lógicas para indicar la secuencia en que deben ser ejecutadas”²⁸

Al trazar una red de precedencia, cada actividad es representada por una caja rectangular. Las dependencias entre las actividades se indican por medio de flechas que van de una actividad a otra. Clough, Sears y Sears agregan que cada trayecto a través de la red debe ser continuo, sin interrupciones, discontinuidades o actividades colgantes (separadas o sin salida). En consecuencia, todas las actividades deben tener por lo menos una actividad que sigue, excepto la actividad que termina el proyecto. Es una práctica estandarizada que los diagramas de precedencia comiencen con una sola actividad de apertura (inicio) y concluyan con una única actividad de cierre (fin).

La figura 40 presenta un esquema general del diagrama de precedencia.

²⁸ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 156.

Figura 40. **Esquema de un diagrama de precedencia**



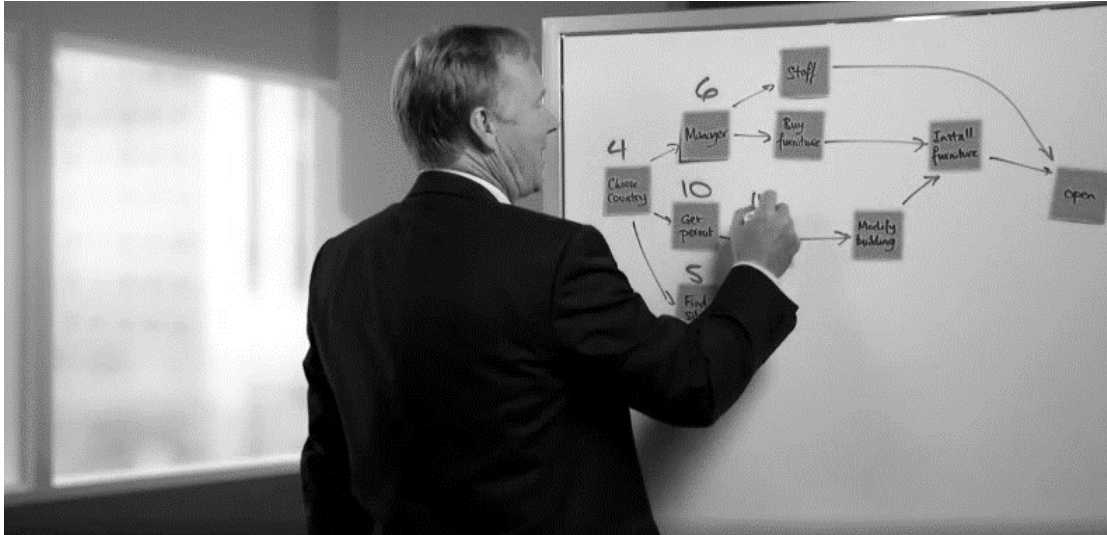
Fuente: elaboración propia.

Cuando se está desarrollando la red, el planificador debe concentrarse en la lógica del trabajo, considerando únicamente las dependencias e interrelaciones de las actividades. Las cuestiones sobre los tiempos de actividad y los conflictos de recursos se examinarán en detalle más adelante durante la programación del proyecto.

Una manera dinámica y ágil de generar la primera red del diagrama del proyecto, consiste en la utilización de tarjetas autoadheribles en las que se escriben las actividades del proyecto en tarjetas separadas para luego ser adheridas a una pizarra en la secuencia en que se considere que las actividades deben proceder. En simultáneo se dibujan con marcador las flechas que definen las relaciones entre actividades. Realizar el diagrama de este forma, permite modificar rápidamente cualquier relación, añadir actividades, y trabajar colaborativamente con el equipo del proyecto en su elaboración.

La figura 41 ilustra una imagen de este procedimiento. En la imagen aparecen, además de las tarjetas autoadheribles y las flechas de las relaciones, unos números escritos arriba de cada tarjeta. Estos números representan la duración estimada para la actividad, en las unidades de medida definidas para el proyecto (días, semanas, entre otros).

Figura 41. **Diagrama de precedencia utilizando notas autoadheribles**



Fuente: CROFT, Chris. *Project management simplified*.

<https://www.linkedin.com/learning/project-management-simplified/using-network-diagrams>.

Consulta: 23 de mayo de 2017.

7.2.3.2. Dependencias del diagrama

El diagrama por precedencia considera cuatro tipos de dependencias o relaciones lógicas entre las actividades. La guía del PMBOK, en su quinta edición, las define de la siguiente manera²⁹:

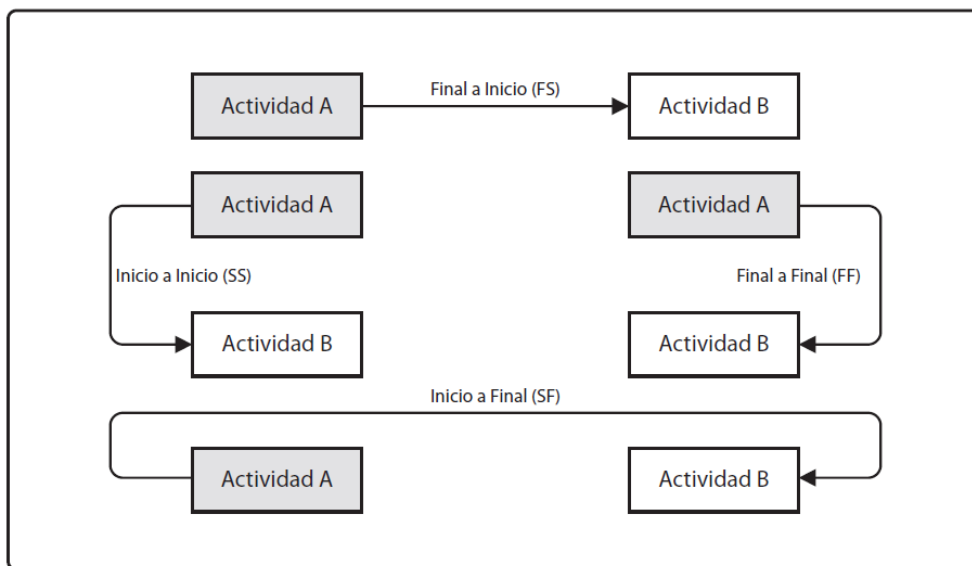
- Final a Inicio (FS). Relación lógica en la cual una actividad sucesora no puede comenzar hasta que haya concluido una actividad predecesora.
- Final a Final (FF). Relación lógica en la cual una actividad sucesora no puede finalizar hasta que haya concluido una actividad predecesora.

²⁹ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 156.

- Inicio a Inicio (SI). Relación lógica en la cual una actividad sucesora no puede comenzar hasta que haya comenzado una actividad predecesora.
- Inicio a Final (SF). Relación lógica en la cual una actividad sucesora no puede finalizar hasta que la predecesora haya comenzado.

En la figura 42 se presentan esquemáticamente los tipos de relaciones en la manera en que se sugiere sean representadas en el diagrama de precedencia.

Figura 42. **Tipos de relaciones del diagrama de precedencia**

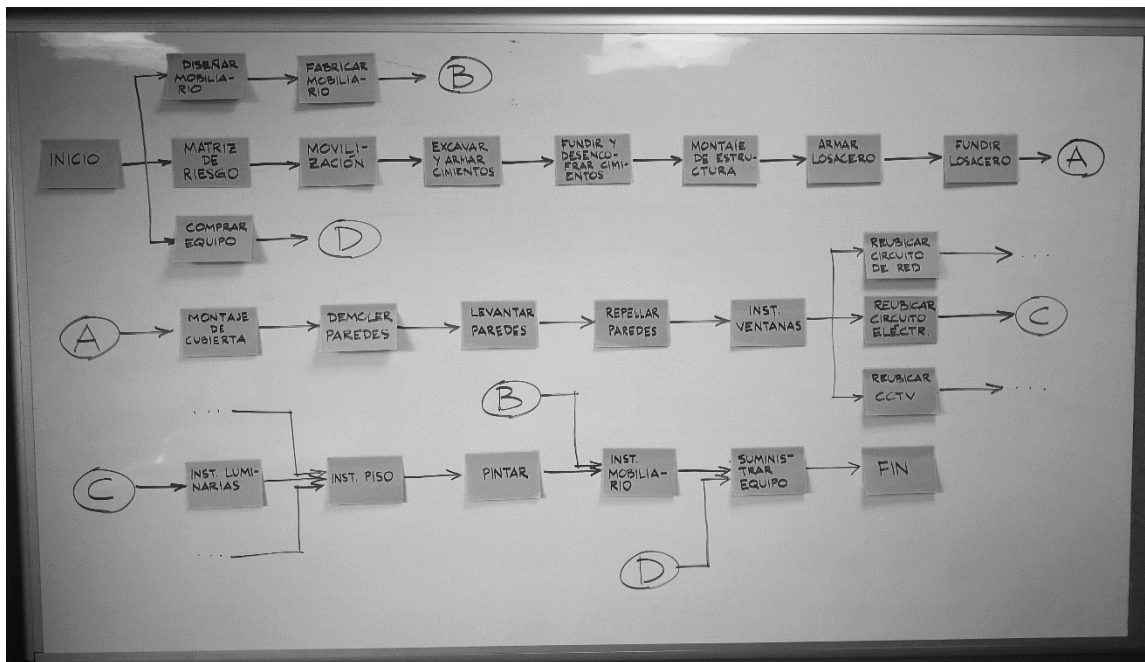


Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 157.

Para la elaboración de la primera red del proyecto, Rogers recomienda utilizar solamente relaciones del tipo Final a Inicio (FS). Esto facilitará significativamente su elaboración y dejará holgura para realizar reajustes durante el proceso de programación (elaboración del cronograma).

En la figura 43 se presenta el diagrama de precedencia para el proyecto de ejemplo utilizando la técnica de notas autoadheribles y trazando las dependencias en un pizarrón, con relaciones final a inicio únicamente. En cada nota autoadherible se anotaron las actividades que componen los paquetes de trabajo del proyecto.

Figura 43. Diagrama de precedencia del proyecto de ejemplo



Fuente: elaboración propia.

El siguiente paso consiste en elaborar el cronograma y el presupuesto para el proyecto.

7.3. Programación y presupuesto con implementación del PMBOK

La programación es la proyección de tiempos para las operaciones de construcción que servirá como guía principal para la ejecución del proyecto. El

presupuesto es la suma de los recursos monetarios necesarios para la ejecución de las actividades. Tanto la programación como el presupuesto son elaborados a partir de las actividades identificadas en la EDT; la programación se obtiene mediante la asignación de duraciones a cada actividad y el presupuesto se obtiene mediante la estimación y suma del costo de cada actividad o paquete de trabajo.

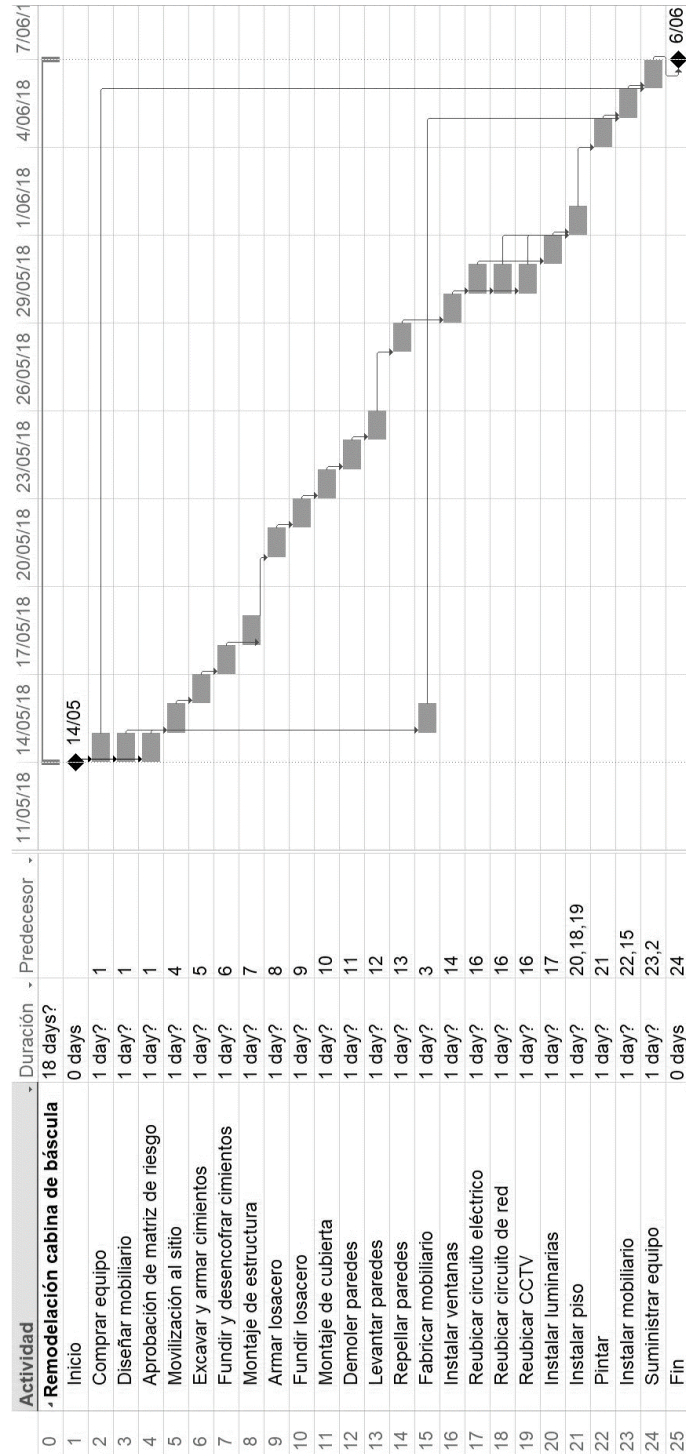
A partir de este punto, se recomienda trasladar la red del proyecto a un software de planificación que facilite la modificación de las relaciones entre actividades ya que, posteriormente, puede ser necesario realizar cambios en función de reducir la duración del proyecto y reflejar fielmente la secuencia de las operaciones en campo.

En la figura 44 se presenta la red del proyecto trasladada a un programa de uso frecuente para la planificación y control de proyectos: Microsoft Project. Al definir las relaciones entre tareas, el programa genera simultáneamente una representación gráfica, conocida como diagrama de barras o diagrama de Gantt, que es “relativamente fácil de leer y que se utiliza frecuentemente en presentaciones”³⁰ al propietario e interesados del proyecto para mostrar el avance de las actividades en una interfaz gráfica.

Además de la generación del diagrama de barras, programas como Microsoft Project facilitan la generación de reportes que van desde el avance general del proyecto y de las actividades, hasta mediciones del progreso y pronósticos de resultados mediante la implementación de la gestión del valor ganado, EVM, a describirse más adelante. Es por esta razón que se recomienda su uso durante la planificación, monitoreo y control de la obra constructiva.

³⁰ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 182.

Figura 44. Traslado de la red del proyecto a software de planificación



Fuente: elaboración propia.

Nótese que, hasta este momento, no se han ingresado duraciones a las actividades ni ajustado las restricciones del calendario en cuanto a días laborales y horarios de trabajo; únicamente se ha definido la fecha de inicio del proyecto. Así mismo, todas las relaciones son del tipo fin a comienzo y las actividades no han sido agrupadas dentro del esquema de la EDT, sino siguiendo la secuencia del diagrama de red.

7.3.1. Cronograma del proyecto

El cronograma del proyecto “es un modelo de programación que presenta las actividades relacionadas con fechas planificadas”³¹ de inicio y finalización. Los pasos para la elaboración del cronograma se presentan en la siguiente lista:

- Estimar la duración de las actividades.
- Identificar la ruta crítica.
- Reducir la duración del proyecto si la fecha de terminación no satisface los requerimientos.

7.3.1.1. Estimación de la duración de las actividades

Estimar la duración de las actividades “es el proceso de establecer, aproximadamente, la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizar actividades individuales con los recursos estimados”³².

Cinco reglas importantes se aplican a la estimación de las duraciones de las actividades:

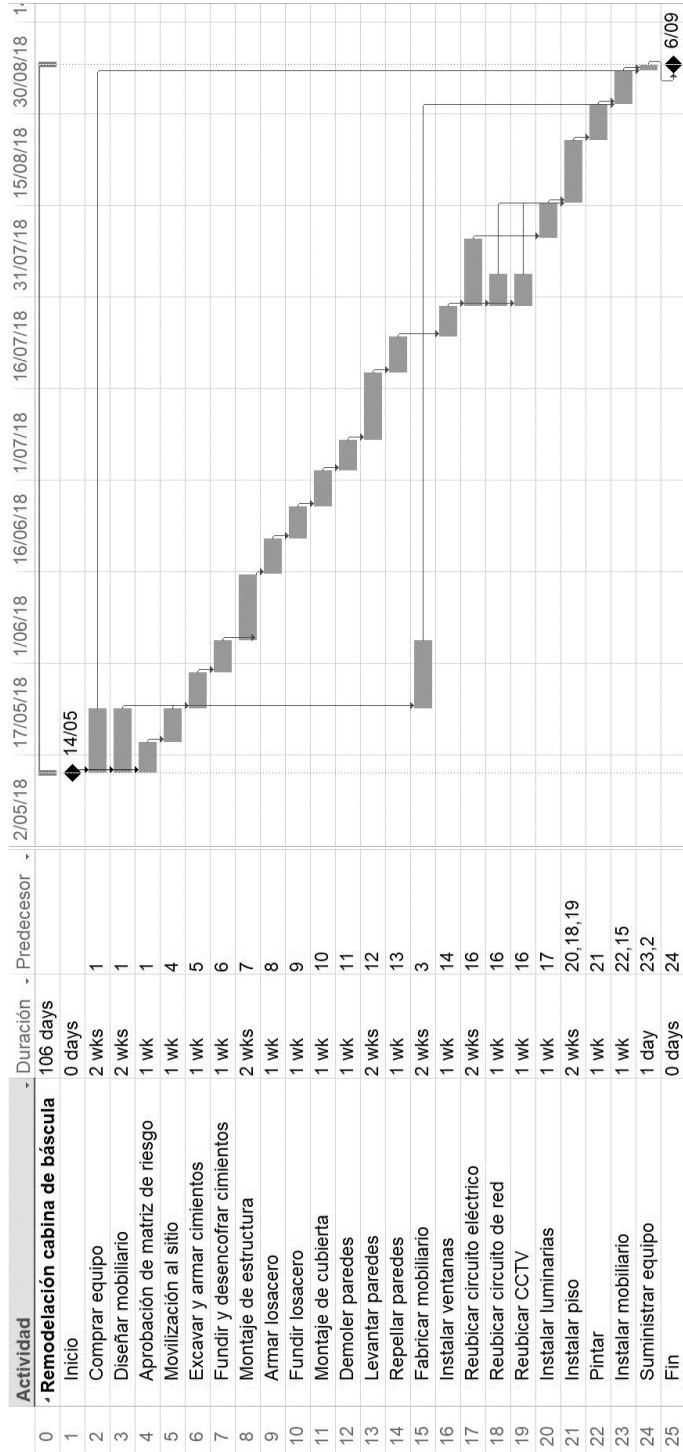
³¹ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 182.

³² *Ibíd.* p. 165.

- Evaluar las actividades una a la vez, independientemente de todas las demás. Para una actividad dada, se debe asumir que los recursos necesarios estarán disponibles cuando sean requeridos.
- Para cada actividad, asumir un nivel normal de personal y equipo de trabajo.
- No se debe considerar, en esta etapa, el trabajo en horas extras o turnos múltiples. Algunos contratos de trabajo garantizan el trabajo de horas extras como parte de la jornada de trabajo o de la semana de trabajo habitual; en estos casos, las horas extras son normales y deben considerarse.
- Concentrarse en estimar la duración de la actividad individual e ignorar todas las otras consideraciones de tiempo. En particular, la fecha de finalización del proyecto debe ser puesta fuera de mente.
- Utilizar unidades de tiempo consistentes en todas partes. Si el tiempo de actividad es inferior a un día laboral, la actividad en cuestión puede ser demasiado pequeña para programar y controlar.

En la figura 45 se presenta la asignación de duraciones a las actividades del proyecto de ejemplo. Estas se definieron en unidades de tiempo de semanas (*wks*) y días (*days*). Siguiendo la tercera regla para la estimación de la duración de las actividades, se procedió a configurar el calendario del proyecto para incluir los fines de semana como días laborales normales; se toman en cuenta las restricciones de horario descritas en la fase de diseño del proyecto.

Figura 45. Asignación de duración a las actividades del proyecto



Fuente: elaboración propia.

Es importante la participación de personal con experiencia y familiarizado con el tipo de proyecto a ejecutar cuando se estiman las duraciones de las actividades. También, es una práctica recomendable involucrar a los contratistas en la estimación de los tiempos de las actividades que tienen bajo su responsabilidad. Finalmente, y como ya se ha mencionado, se deben tomar en consideración los recursos que la actividad demanda, ya que esto permitirá realizar una estimación más precisa del tiempo que la actividad puede consumir.

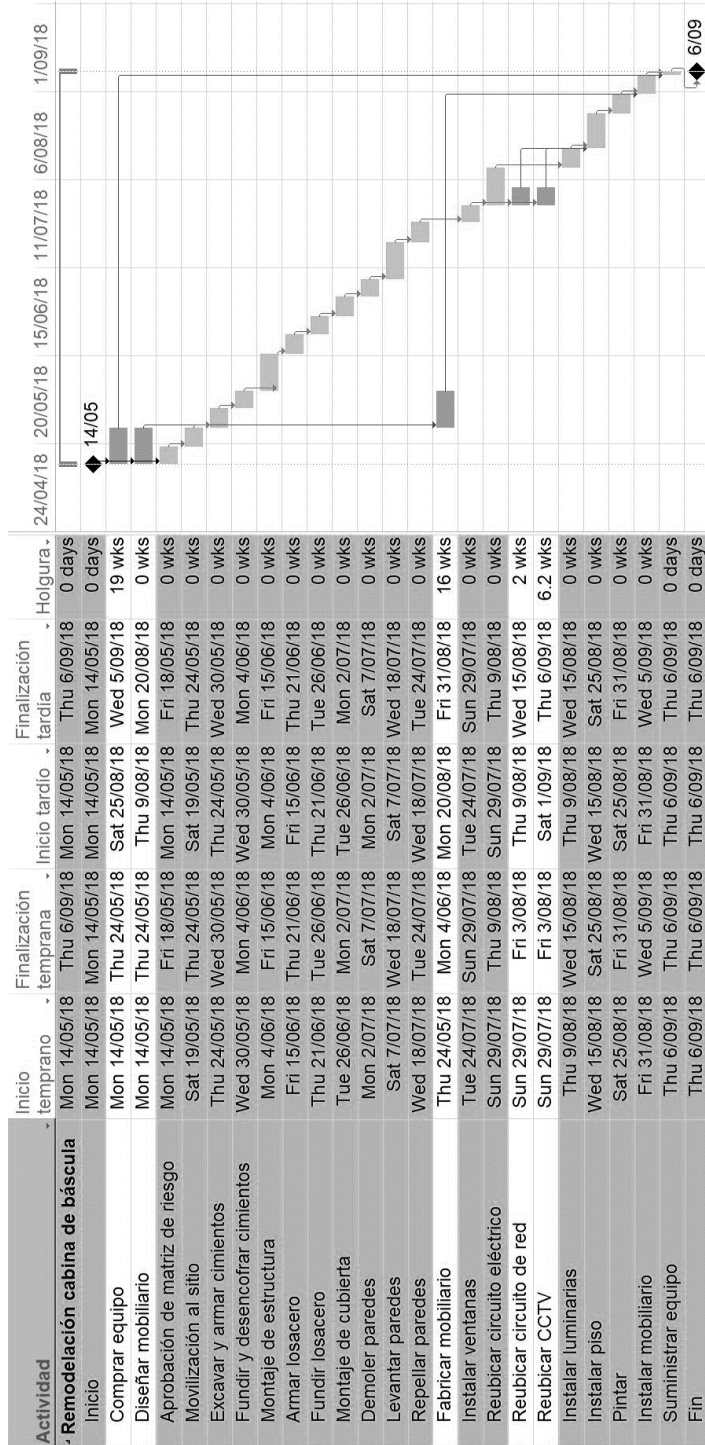
7.3.1.2. Identificación de la ruta crítica

“La ruta crítica es la secuencia de actividades que representa el camino más largo a través de un proyecto y determina la menor duración posible del mismo”³³. La identificación de la ruta crítica se logra mediante la aplicación del método de ruta crítica, CPM por sus siglas en inglés, al diagrama de red. El método permite obtener, además, los inicios y terminaciones tempranos y tardíos para cada actividad, así como las holguras para las actividades que no forman parte de la ruta crítica.

La utilización de software de planificación, como Microsoft Project, permitirá la identificación de la ruta crítica de manera automática al asignar el tipo de relación y la duración de cada actividad. Sin embargo, una descripción detallada del procedimiento manual para la determinación de la ruta crítica y el cálculo de los valores de terminaciones y holguras para las actividades se presenta en el apéndice de este trabajo bajo el título: Determinación de ruta crítica, tiempos y holguras. La figura 46 presenta la ruta crítica para el proyecto de ejemplo. Las actividades remarcadas en gris son las que conforman la ruta crítica del proyecto.

³³ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 176.

Figura 46. Identificación de ruta crítica del proyecto de ejemplo



Fuente: elaboración propia.

7.3.1.3. Reducción de la duración del proyecto

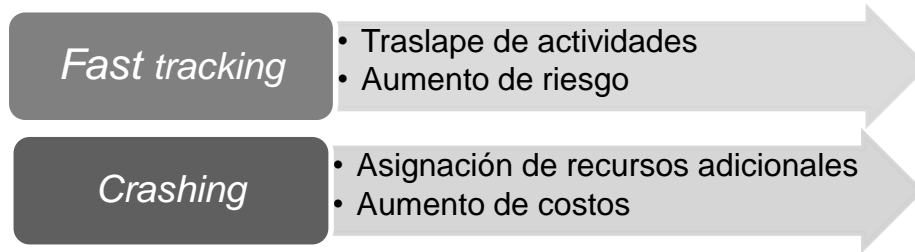
Con frecuencia, los objetivos de tiempo establecidos durante el diseño requieren que las etapas clave del trabajo se alcancen antes de lo que la programación original arroja. Esta reducción en el tiempo necesario para alcanzar algún evento del proyecto se logra solamente reduciendo el camino más largo hacia ese evento. Cuando la fecha de finalización del proyecto es la que necesita ser avanzada, será la ruta crítica de la red la que deba acortarse.

Básicamente, solo hay dos formas de lograr esto:

- Modificar la lógica del trabajo de modo que la ruta crítica disminuya en longitud. Esto se logra mediante el traslape de actividades y asumiendo los riesgos que esto puede representar. A esta técnica se le conoce como *fast tracking*.
- Reducir la duración de una o más de las actividades en la ruta crítica. La compresión de una actividad se puede lograr de varias maneras dependiendo de su naturaleza: se pueden usar equipos adicionales, horas extras o turnos múltiples; puede ser posible la subcontratación; se pueden adelantar tiempos de entrega de materiales, entre otros. A esta técnica se le conoce como *crashing* y normalmente resulta en un aumento en los costos como consecuencia del aumento en la asignación de los recursos.

La figura 47 presenta de forma esquemática los conceptos principales de cada una de estas técnicas.

Figura 47. **Técnicas para la reducción de tiempos**

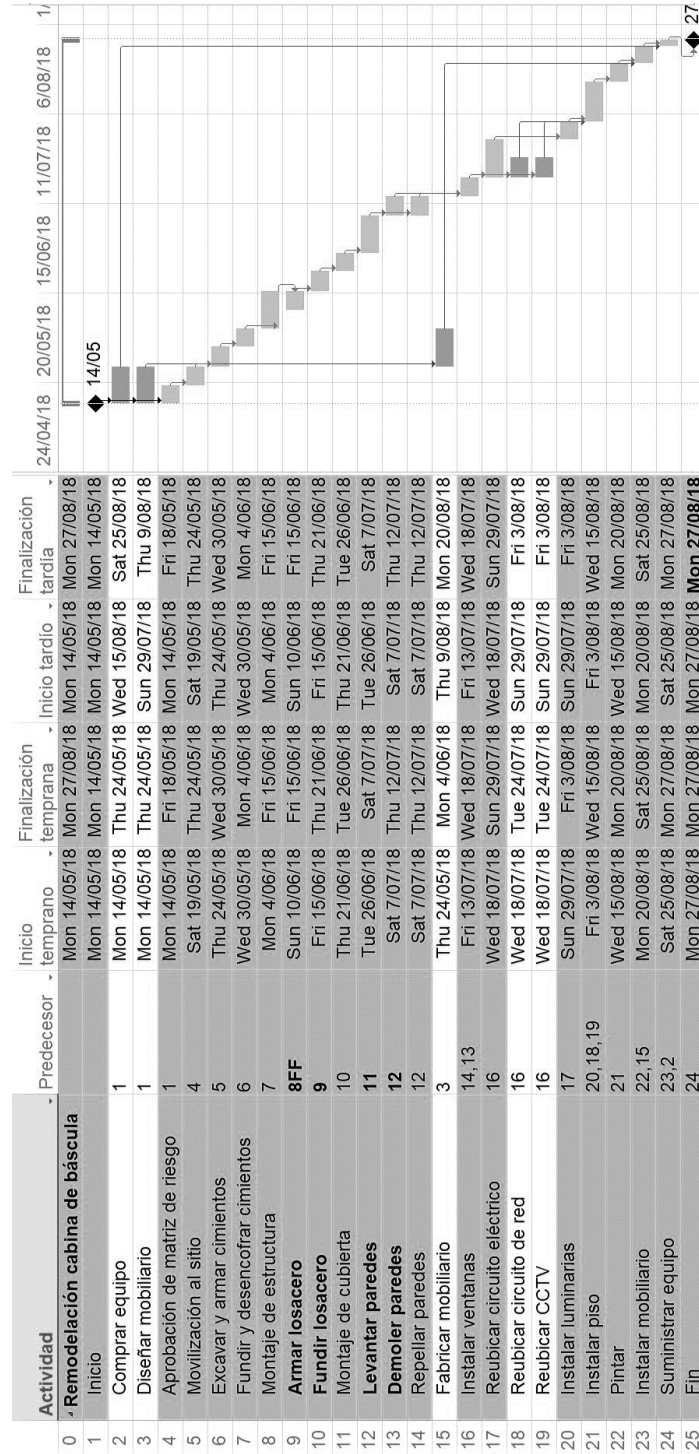


Fuente: elaboración propia.

Aplicado al proyecto de ejemplo, se observa que el cronograma de la figura 46 estima la finalización del proyecto en la primera semana de septiembre. Sin embargo, en el cronograma general presentado durante la fase de concepción y diseño, se generó la expectativa de terminar el proyecto en el mes de agosto. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo una reducción de la duración, para satisfacer esta expectativa, utilizando la técnica de *fast tracking*; traslapando las actividades de montaje de estructura con armar losacero mediante la asignación de una relación final a final entre ambas actividades tomando en consideración que, para cuando la estructura metálica estuviese completada, esta debería incluir la lámina de la losacero instalada y lista para fundirse.

De forma similar, se realizó una modificación en el orden de las actividades de demolición y levantado de paredes, colocando levantar paredes (nuevas) antes de demoler paredes (antiguas) tomando en consideración que el interior de la cabina de operación no puede quedar descubierto a la intemperie y, por lo tanto, la demolición de las paredes antiguas debe realizarse después de que las nuevas paredes hayan sido levantadas. Ambos ajustes permitieron una reducción de poco más de una semana en la duración del cronograma, quedando la fecha de finalización del proyecto dentro de la última semana del mes de agosto, tal como se presenta en la figura 48.

Figura 48. Reducción de la duración al cronograma



Fuente: elaboración propia.

Como último paso en la elaboración del cronograma, se agruparon las actividades dentro de los paquetes de trabajo para ajustarse al esquema de la EDT; esto es, se incluyeron dentro de la columna de actividad los nombres de los componentes mayores de la obra y los paquetes de trabajo para asignar a estos últimos las actividades correspondientes según el esquema de la EDT. Esto facilitará posteriormente la actualización de los avances de las actividades ya que cada una de estas estará debidamente indexada dentro de su paquete de trabajo y componente.

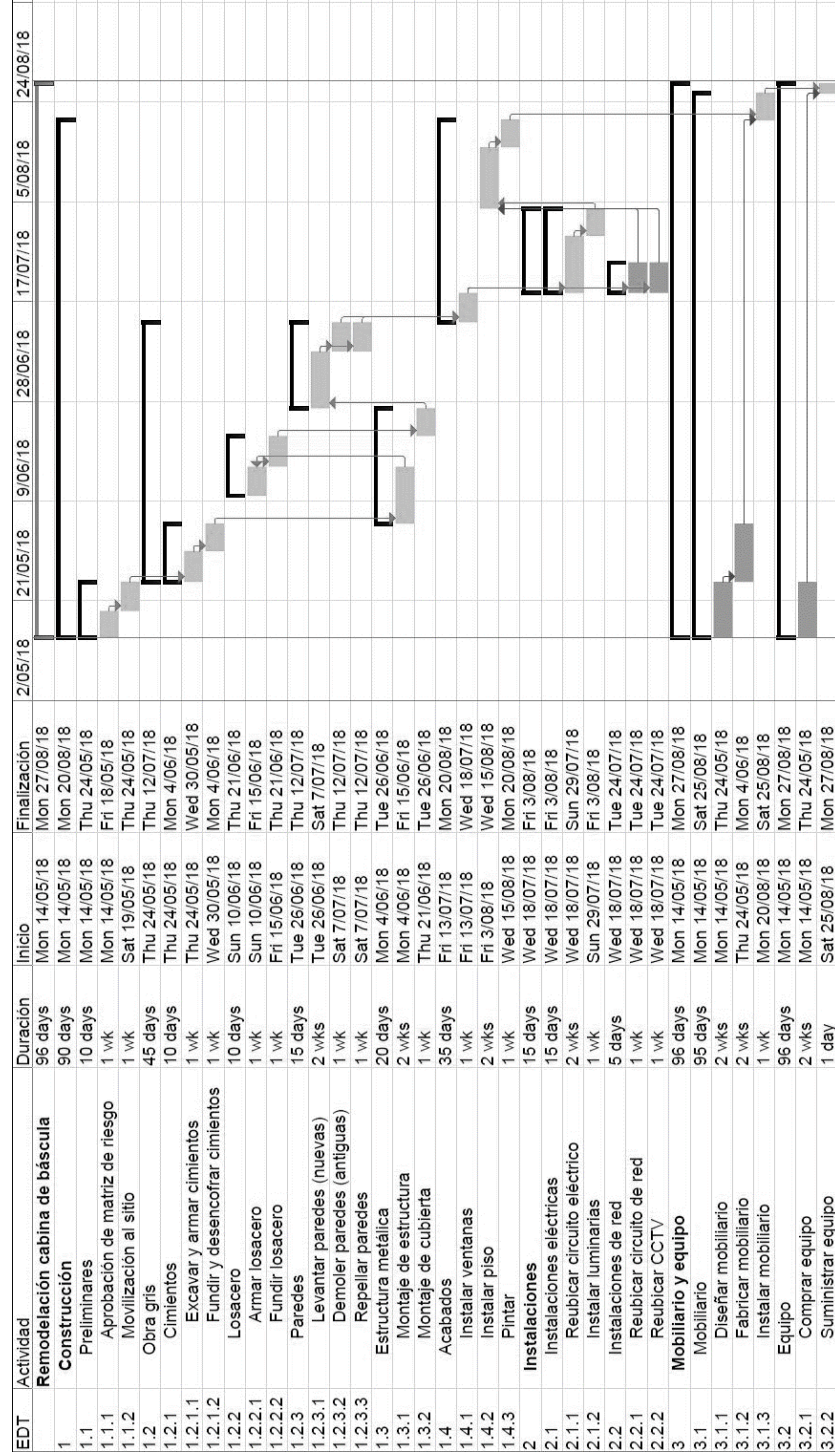
Las fechas de inicio, finalización, y las duraciones de cada una de las actividades junto con su representación en el esquema gráfico del diagrama de barras (conocido como diagrama de Gantt), constituirán lo que se conoce como la línea base del cronograma. La línea base del cronograma constituye “la versión aprobada del modelo de programación”³⁴ que se utilizará como parámetro de comparación de los resultados reales del proyecto durante la fase de ejecución: “durante el monitoreo y control las fechas aprobadas de la línea base se comparan con las fechas reales de inicio y finalización para determinar si se han producido desviaciones”³⁵.

En la figura 49 se presenta la línea base del cronograma, ajustado al esquema de componentes, paquetes de trabajo y actividades de la estructura de desglose del trabajo, EDT, para el caso de ejemplo. El inicio del proyecto está determinado por la fecha de inicio de la primera actividad y su fecha de finalización por la fecha de finalización de la última actividad. En la fila del nombre del proyecto se resume esta información: duración de 96 días, inicio el 14 de mayo del 2018 y finalización 27 de agosto del 2018.

³⁴ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 181.

³⁵ *Ibíd.*

Figura 49. Línea base del cronograma



Fuente: elaboración propia.

7.3.2. Presupuesto del proyecto

“Determinar el presupuesto del proyecto es el proceso de integrar los costos estimados de los paquetes de trabajo para establecer una línea base de costos autorizada”³⁶ a partir de la cual se podrá monitorear y controlar el desempeño del proyecto. El primer paso en la elaboración del presupuesto consiste en estimar los costos de los paquetes de trabajo.

7.3.2.1. Estimación de los costos

Estimar el costo de un proyecto implica “desarrollar una aproximación de los recursos monetarios necesarios para construir el proyecto”³⁷. Estas estimaciones se realizan con la información disponible al momento según corresponda a la fase en la que se encuentre el proyecto.

Por ejemplo, una estimación preliminar de costos puede proporcionar al propietario los detalles suficientes para asignar fondos para construir el proyecto, tal como se realizó durante la fase de concepción y diseño del proyecto a través del presupuesto preliminar, en el capítulo 6. Por otro lado, durante la fase de planificación y específicamente durante la elaboración del presupuesto, un contratista puede preferir un enfoque más definitivo e incluir detalles de costos directos e indirectos para justificar el costo planificado del trabajo que tiene asignado.

Para los fines del gerente de proyecto, los métodos de estimación de costos pueden incluir el análisis de cuánto debería costar el proyecto sobre la base de las ofertas de proveedores calificados.

³⁶ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 208.

³⁷ *Ibíd.* p. 200.

La tabla XXIII presenta los valores de las ofertas seleccionadas para los paquetes de trabajo del proyecto de ejemplo.

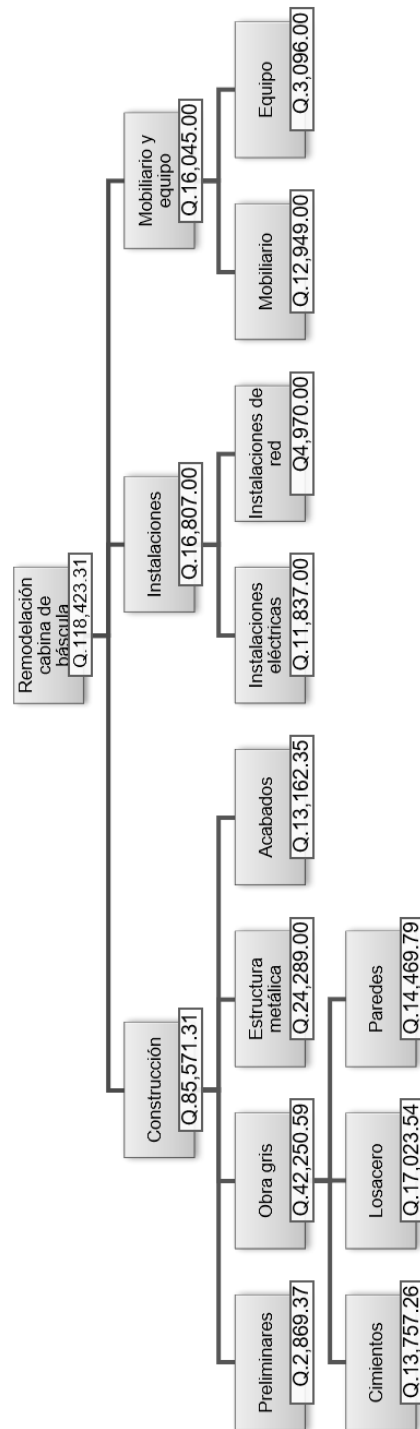
Tabla XXIII. **Ofertas para los paquetes de trabajo del proyecto**

Caso de ejemplo		
EDT	Remodelación cabina de báscula	Precio ofertado
1	Construcción	Q. 85 571,31
1.1	Preliminares	Q. 2 869,37
1.2	Obra gris	Q. 45 250,59
1.3	Estructura metálica	Q. 24 289,00
1.4	Acabados	Q. 13 162,35
2	Instalaciones	Q. 16 807,00
2.1	Instalaciones eléctricas	Q. 11 837,00
2.2	Instalaciones de red	Q. 4 970,00
3	Mobiliario y equipo	Q. 16 045,00
3.1	Mobiliario	Q. 12 949,00
3.2	Equipo	Q. 3 096,00
Total		Q. 118 423,31

Fuente: elaboración propia.

En la figura 50 se presenta un ejemplo de lo que se conoce como integración ascendente de costos para el proyecto de ejemplo, utilizando los valores de la tabla superior. El costo de cada uno de los componentes mayores del proyecto está constituido por la suma de los paquetes de trabajo del nivel inferior, y el costo total del proyecto está conformado por el total de la suma de los componentes. Presentar la información de esta forma gráfica permite visualizar más fácilmente los costos asociados a cada trabajo del proyecto.

Figura 50. Integración ascendente de costos

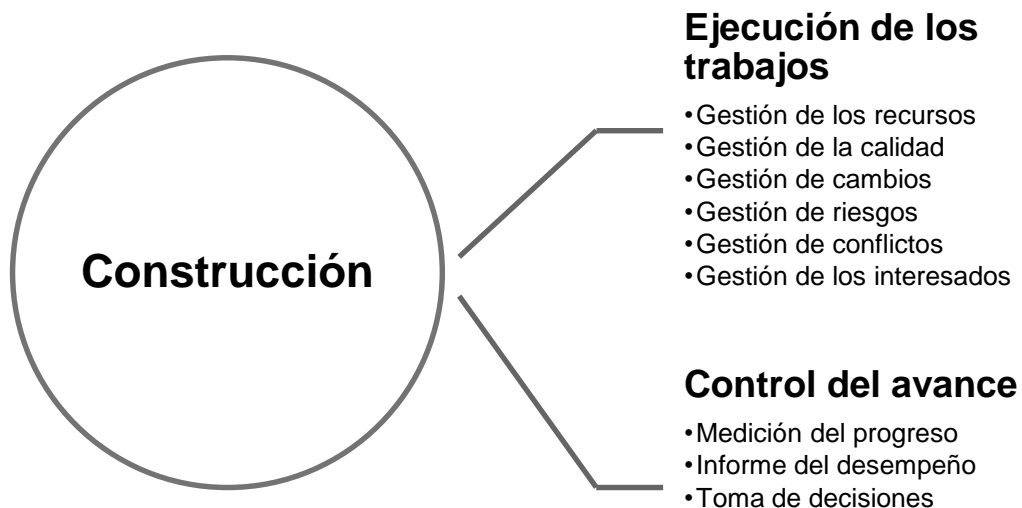


Fuente: elaboración propia.

8. GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN CON IMPLEMENTACIÓN DEL PMBOK

Una vez aprobado, el plan del proyecto se convierte en la base de dos procesos estrechamente relacionados: ejecución y control de la construcción. El rol principal del gerente del proyecto de construcción consiste en la gestión de los elementos que determinan el éxito del proyecto y el control del avance de la obra. La figura 51 ilustra los procesos de la fase de construcción.

Figura 51. **Procesos de la fase de construcción**



Fuente: elaboración propia.

8.1. Ejecución de los trabajos

Ejecutar los trabajos consiste en liderar y llevar a cabo las actividades definidas en el plan, gestionando también cualquier actividad no planificada para determinar las acciones de respuesta adecuadas en cada situación.

8.1.1. Gestión de los recursos

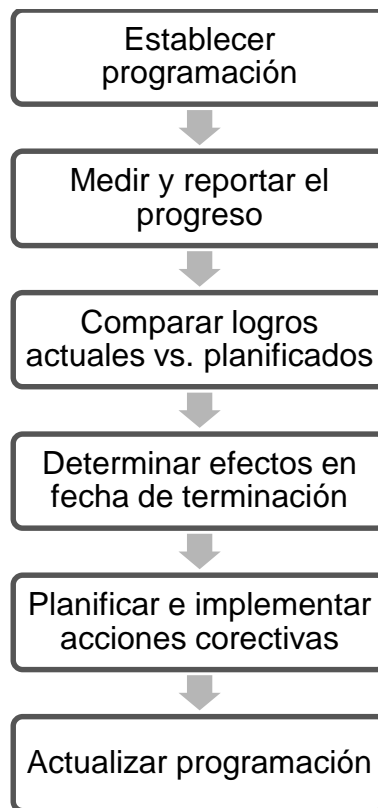
Clough, Sears y Sears establecen que el objetivo básico de la gestión de recursos es suministrar y respaldar las operaciones de campo para que los objetivos de tiempo establecidos puedan cumplirse y los costos se puedan mantener dentro del presupuesto de construcción. Es responsabilidad del gerente del proyecto asegurarse de que el trabajo esté debida y adecuadamente equipado y que los recursos sean utilizados de manera eficiente. Si existieran conflictos entre las actividades del proyecto y el equipo disponible, se debe considerar la reprogramación de actividades no críticas, el trabajo en horas extras o turnos múltiples, o explorar métodos de construcción alternativos.

8.1.1.1. Tiempo

Gestionar el tiempo implica la medición periódica del progreso real del trabajo en el campo y su comparación con los objetivos planificados. Clough, Sears y Sears . agregan también que, a intervalos regulares, se toma nota de las actividades que se han completado y el grado de finalización de las actividades que están en curso. La revisión de esta información revela dónde está adelantado o atrasado el proyecto hasta ese momento y por cuánto. Las actividades críticas, y aquellas con valores de holgura bajos, se monitorean muy de cerca debido a su importancia estratégica para mantener la entrega del proyecto dentro de programación.

Los proyectos de construcción se desarrollan dentro de un entorno constantemente cambiante. Por esta razón, el ciclo de gestión de tiempo que se ilustra en la figura 52 se repite regularmente con el objetivo de actualizar los parámetros de tiempo establecidos en la programación inicial.

Figura 52. **Ciclo de gestión del tiempo**



Fuente: elaboración propia.

8.1.1.2. **Dinero**

El dinero es otro recurso del proyecto que debe ser gestionado durante todo el ciclo de vida, pero principalmente durante la etapa de ejecución donde los desembolsos son mayores. La gestión del dinero se realiza a través del control

del presupuesto. Mantenerse dentro del presupuesto y saber cuándo y dónde se desvían los gastos son dos factores que constituyen la clave para una operación rentable. Mediante el método del valor ganado, EVM, a desarrollarse en la sección 8.2, se definen indicadores para medir el rendimiento del dinero asignado al proyecto y pronosticar el costo final del proyecto en función del análisis de gastos realizados hasta una determinada fecha.

8.1.1.3. Mano de obra y equipo

Estas dos categorías de gastos se caracterizan por una considerable incertidumbre y pueden fluctuar sustancialmente durante la fase de construcción. Para proyectos en los cuales la responsabilidad del personal y equipo está en manos del contratista general (como los proyectos llave en mano), la labor del gerente del proyecto consistirá en una evaluación periódica del desempeño del contratista para detectar asignaciones excesivas o escasas de recursos que pongan en riesgo la entrega de los trabajos dentro del presupuesto y cronograma establecidos.

En los proyectos que requieren extensos repartos de equipos de construcción, Clough, Sears y Sears afirman que el cronograma del proyecto y los costos de producción están determinados en gran medida por la adecuada gestión de estos equipos. Con el fin de lograr la mayor eficiencia, los gerentes de proyecto deben analizar periódicamente las operaciones para determinar si se necesita o debe eliminarse un equipo específico. Así mismo, en la medida de lo posible, el equipo enviado al sitio debe ser del tipo que mejor pueda realizar el trabajo en las condiciones reales del trabajo. Finalmente, el trabajo debe planificarse y programarse para lograr el máximo rendimiento del equipo.

8.1.1.4. Materiales

La gestión de los materiales en un proyecto de construcción es esencialmente una cuestión de apoyo logístico. Los materiales de trabajo en la cantidad y calidad adecuada deben estar disponibles en el lugar y tiempo requeridos. Todos los aspectos de la adquisición de materiales, desde el pedido hasta la entrega, están dirigidos a este objetivo. Es fundamental considerar los intervalos de entrega dentro del tiempo del requerimiento de un material ya que esto permite determinar la última fecha posible de pedido.

8.1.1.5. Subcontratistas

Los subcontratistas a menudo juegan un papel importante en el logro de los objetivos de tiempo y costo del proyecto. La responsabilidad principal del gerente del proyecto será la de garantizar que cada subcontratista comience a trabajar en el momento adecuado y realice el trabajo de acuerdo con el cronograma establecido. Hay algunas consideraciones importantes involucradas en llevar a cabo esta responsabilidad:

- Definir cuidadosamente el acuerdo de subcontratación con requisitos específicos en términos de entregables.
- Participar a los subcontratistas en las evaluaciones periódicos de avance y desempeño para establecer compromisos en cuanto al cumplimiento de los objetivos que estén bajo su responsabilidad.
- Asegurarse de que los subcontratistas adquieran sus materiales, equipo y herramientas principales con tiempo suficiente para cumplir con el cronograma de construcción.

- Facilitar las condiciones en el sitio para que los subcontratistas puedan instalarse y realizar su trabajo de manera eficiente.

8.1.2. Gestión de la calidad

Gestionar la calidad es el proceso de auditar la ejecución y los resultados de la obra, a fin de garantizar que el trabajo en curso se completará de tal manera que se cumplan a satisfacción las condiciones del contrato. Los estándares de calidad están compuestos principalmente por los códigos de construcción y los lineamientos definidos en los planos constructivos y las especificaciones del proyecto. El control de calidad implica supervisar y asegurar el cumplimiento de estos estándares e identificar cualquier desempeño insatisfactorio para corregirlo oportunamente.

Los elementos inspeccionados que no cumplen con los requisitos se deben incluir en un registro de no-conformidad que describa las deficiencias, la acción correctiva inmediata, y las acciones preventivas para evitar la recurrencia de la condición que causó la no conformidad.

La tabla XXIV presenta una propuesta para llevar este registro:

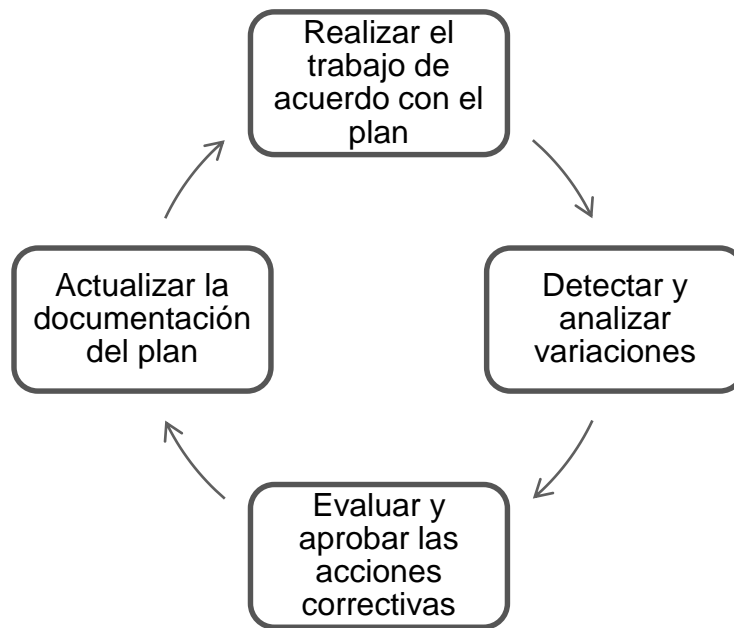
Tabla XXIV. **Plantilla para registro de no-conformidades**

ID	Descripción	Acción correctiva	Acción preventiva
1	Cubierta metálica no alineada con eje A del muro.	Desmontar y recortar estructura para alinear con el eje del muro.	Revisar medidas reales en campo previo a fabricar los elementos adosados.

Fuente: elaboración propia.

Las actividades anteriormente descritas forman parte del ciclo de gestión de la calidad que se llevará a cabo de manera continua durante toda la fase de construcción. La figura 53 esquematiza este ciclo.

Figura 53. **Ciclo de gestión de la calidad**



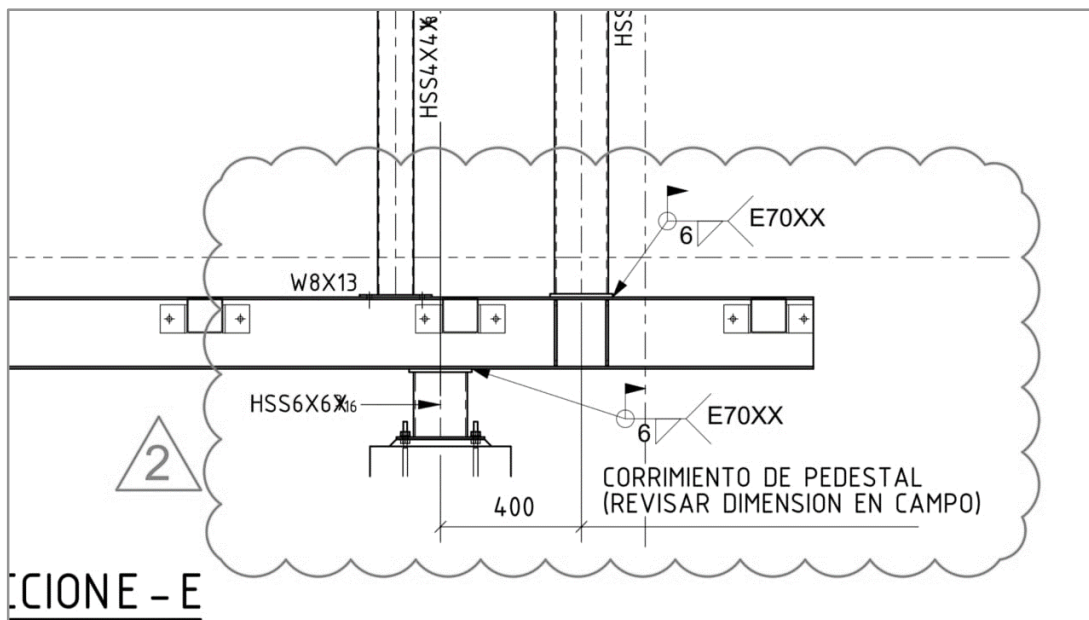
Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, es importante tomar en consideración que el retrabajo, entendido como las acciones tomadas para que los elementos defectuosos o no conformes cumplan con los requisitos reglamentarios o las especificaciones del proyecto, aumenta los costos y provoca retrasos en la programación de los proyectos de construcción. El equipo del proyecto debe hacer todos los esfuerzos razonables para minimizar el retrabajo afirma la extensión para la construcción de la guía PMBOK. Luego, agrega en la misma página que gran parte del retrabajo se debe a una supervisión deficiente en el sitio o a comunicaciones deficientes entre el equipo de trabajo.

8.1.3. Gestión de cambios

La gestión de cambios consiste en “revisar todas las solicitudes de cambio o modificaciones a documentos del proyecto, entregables o líneas base... y aprobar o rechazar los cambios”³⁸. Cada una de las solicitudes de cambio documentadas debe ser aprobada o rechazada por el gerente del proyecto o el propietario, según el impacto que los cambios representen, para convertirse en ordenes de cambio. Las órdenes de cambio pueden requerir la revisión o reelaboración de estimaciones de costos, secuencias de actividades, fechas programadas, necesidades de recursos y análisis de alternativas de respuesta a los riesgos. La figura 54 presenta el detalle de una modificación en el diseño estructural del proyecto de ejemplo derivado de una orden de cambio.

Figura 54. Detalle de cambio realizado en planos constructivos



Fuente: AVELLÁN, Diego. *Ampliación de báscula*. Hoja G-2.

³⁸ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 94.

Un proceso de control de cambios ausente o deficiente es a menudo la causa de efectos negativos en los proyectos y puede afectar la reputación de los contratistas, diseñadores y propietarios por igual. Aunque los cambios pueden iniciarse verbalmente, deben registrarse por escrito e ingresarse al sistema de gestión de cambios. La tabla XXV muestra una matriz sugerida para este registro.

Tabla XXV. **Registro de órdenes de cambio**

Caso de ejemplo							
No.	Descripción	Doc. de referencia	Oferta No.	Responsable	Costo	Extensión de tiempo	Observaciones
1	Modificación de diseño por corrimiento de pedestales sobre eje A 0.30 m hacia el eje B.	Hoja: G-2 Rev. 2	DA 012018	Ingeniero estructural	(incluido en contrato)	0 días	Los planos estarán listos para la fundición para evitar retrasos en el cronograma.
2	Anular ventana tipo 02 y reemplazar vano por electropanel.	Hoja: A-101 Rev. 1	023-2018	Contratista general	Q.800.00	0 días	Se requiere más área de pared para ubicación de mobiliario.
3	...						

Fuente: elaboración propia.

8.1.4. Gestión de riesgos

El trabajo del proyecto debe monitorearse continuamente para detectar riesgos nuevos, riesgos que cambian o que se tornan obsoletos. Una herramienta para el control de los riesgos consiste en realizar auditorías de los riesgos para “examinar las respuestas a los riesgos identificados y sus causas”³⁹. Al respecto, la guía del PMBOK agrega en la misma página:

El gerente del proyecto es el responsable de asegurar que las auditorías de riesgos se realicen con una frecuencia adecuada. Las auditorías se pueden incluir en las reuniones de rutina de revisión del proyecto, o bien, pueden celebrarse reuniones específicas de auditoría de riesgos si el equipo así lo decide.⁴⁰

³⁹ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 351.

⁴⁰ *Ibíd.*

Finalmente, es importante recordar que “la gestión de riesgos se torna más sencilla conforme se practica con mayor frecuencia. Los debates frecuentes sobre los riesgos aumentan las posibilidades de que las personas identifiquen los riesgos y las oportunidades”⁴¹. Por esta razón, se recomienda que sean un punto de agenda de las reuniones periódicas.

8.1.5. Gestión de conflictos

“Los conflictos resultan inevitables en el entorno de un proyecto. Las fuentes de conflicto incluyen la escasez de recursos, las prioridades de la programación y los estilos personales de trabajo”⁴². Sin embargo, el definir las reglas básicas del equipo y llevar a cabo y de forma consistente las prácticas de dirección de proyecto reducen la cantidad de conflictos. La gestión exitosa de conflictos se traduce en una mayor productividad y en relaciones de trabajo positivas. Cuando se gestionan adecuadamente, las diferencias de opinión pueden conducir a una mayor creatividad y una mejor toma de decisiones. A continuación, se presentan algunas técnicas generales de resolución de conflictos⁴³:

- Suavizar / adaptarse. Hacer énfasis en los puntos de acuerdo en lugar de las diferencias.
- Consensuar / conciliar. Buscar soluciones que aporten cierto grado de satisfacción a todas las partes a fin de resolver el conflicto de una manera temporal o parcial.

⁴¹ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 352.

⁴² *Ibíd.* p. 282.

⁴³ *Ibíd.* p. 283.

- Forzar / dirigir. Imponer el punto de vista propio haciendo cumplir las soluciones mediante el uso de poder para resolver una emergencia.
- Colaborar / resolver el problema. Incorporar múltiples puntos de vista y visiones desde diferentes perspectivas.

8.1.6. Gestión de los interesados

Gestionar a los interesados consiste en realizar las acciones necesarias para satisfacer sus necesidades y expectativas de comunicación sobre los avances del proyecto, abordar los incidentes en el momento en que ocurren y fomentar la participación adecuada en las actividades del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. Esto permite al gerente del proyecto “incrementar el apoyo y minimizar la resistencia por parte de los interesados, aumentando significativamente las posibilidades de lograr el éxito del proyecto”⁴⁴.

Gestionar la participación implica realizar actividades tales como⁴⁵:

- Involucrar a los interesados en las etapas adecuadas del proyecto para obtener o confirmar su compromiso continuo con el éxito del proyecto.
- Gestionar las expectativas de los interesados mediante negociación y comunicación para asegurar que se alcancen los objetivos del proyecto.
- Abordar posibles inquietudes que aún no representan incidentes y anticipar futuros problemas que puedan presentarse.

⁴⁴ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 404.

⁴⁵ *Ibíd.* p. 405.

- Aclarar y resolver los incidentes que han sido identificados.

8.1.6.1. Habilidades interpersonales

La guía del PMBOK quinta edición refiere que “el gerente del proyecto aplica las habilidades interpersonales para gestionar las expectativas de los interesados”⁴⁶.

Ejemplos de estas habilidades interpersonales son:

- Generar confianza
- Resolver conflictos
- Escuchar de forma activa
- Superar la resistencia al cambio

8.1.6.2. Habilidades de gestión

La misma guía observa que “el gerente del proyecto aplica las habilidades de gestión para coordinar y armonizar al grupo hacia el logro de los objetivos del proyecto”⁴⁷.

Ejemplos de habilidades de gestión son:

- Facilitar el consenso hacia los objetivos del proyecto.
- Ejercer influencia sobre las personas para que apoyen el proyecto.
- Negociar acuerdos para satisfacer las necesidades del proyecto.

⁴⁶ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 407.

⁴⁷ *Ibíd.* p. 408.

- Modificar el comportamiento de la organización para aceptar los resultados del proyecto.

8.2. Control del avance

Controlar el avance del proyecto consiste en medir el progreso de la obra con la finalidad de detectar cualquier variación respecto a la línea base del cronograma y del presupuesto y realizar proyecciones sobre los resultados esperados para la toma oportuna de decisiones para alcanzar el éxito del proyecto.

8.2.1. Medición del progreso

Dentro de la metodología planteada en este trabajo, se propone llevar a cabo la medición del progreso aplicando la gestión del valor ganado (EVM, por sus siglas en inglés). La guía del PMBOK describe gestión del valor ganado como:

[...] una metodología que combina medidas de alcance, cronograma y recursos para evaluar el desempeño y el avance del proyecto. [...] Es una técnica de dirección de proyectos que requiere la constitución de una línea base integrada con respecto a la cual se pueda medir el desempeño a lo largo del proyecto. Los principios del EVM se pueden aplicar a todos los proyectos, en cualquier sector.⁴⁸

“El EVM establece y monitorea tres dimensiones clave para cada paquete de trabajo [...]”⁴⁹:

- Valor planificado (PV, *planned value*). Es el presupuesto autorizado que se ha asignado al trabajo programado. Se obtiene del valor planificado del

⁴⁸ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 217.

⁴⁹ *Ibíd.*

trabajo que se debería haber completado hasta la fecha en evaluación. El valor planificado total para el proyecto también se conoce como presupuesto hasta la conclusión (BAC, por sus siglas en inglés).

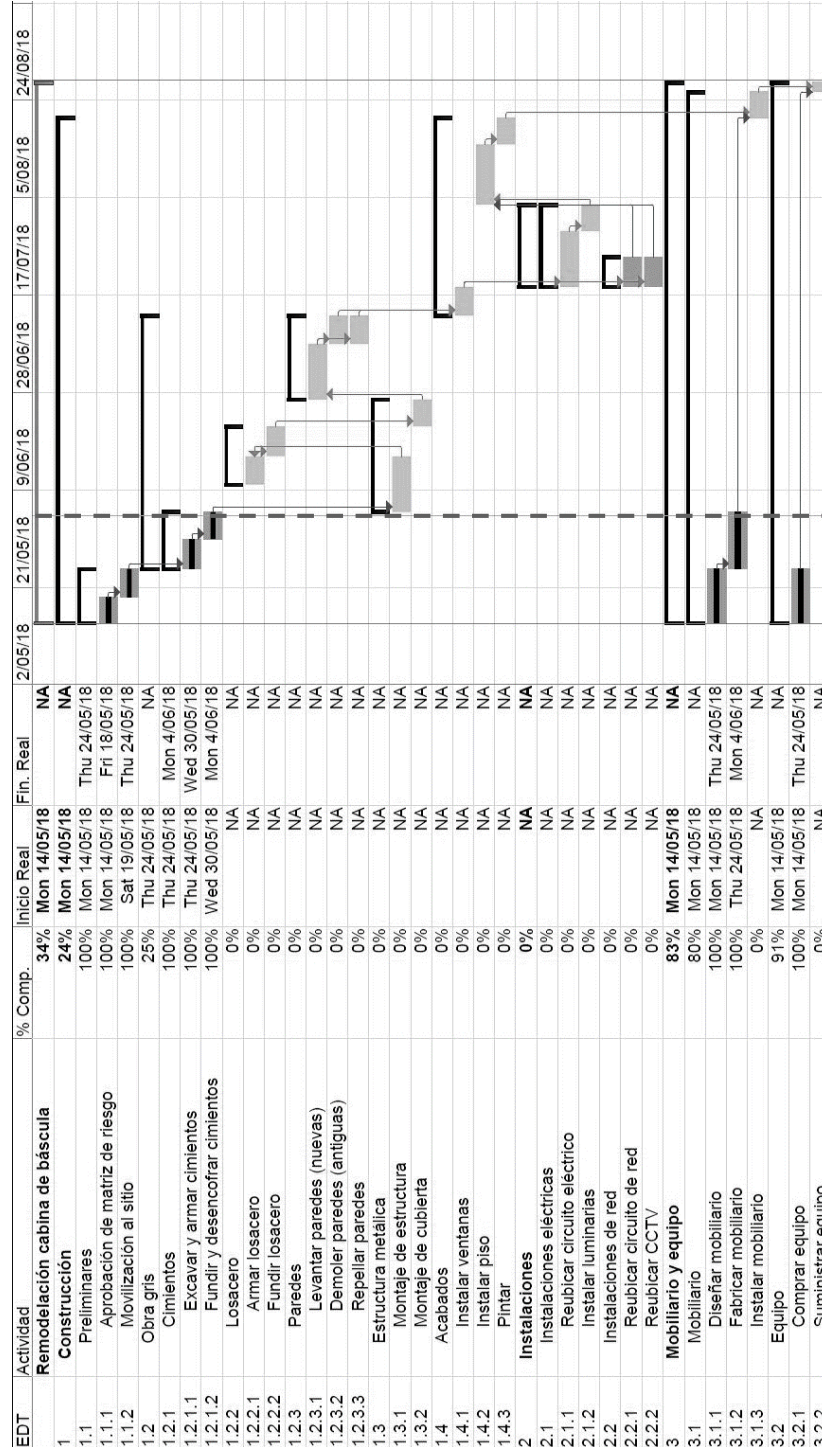
- Valor ganado (EV, *earned value*). Es la medida del trabajo realizado en términos del presupuesto autorizado para dicho trabajo. Se obtiene del valor planificado del trabajo que efectivamente se ha completado hasta la fecha de corte.
- Costo real (AC, *actual cost*). Es el costo incurrido por todo el trabajo llevado a cabo hasta la fecha de corte.

Se sugiere informar sobre los tres parámetros (valor planificado, valor ganado, costo real) por períodos semanales o mensuales (según se haya establecido dentro del plan de gestión) y de forma acumulativa.

Para ilustrar la aplicación de estos parámetros, la figura 55 muestra el cronograma del proyecto de ejemplo con el avance que debería presentarse al 4 de junio del 2018, fecha de corte en que se evaluó el desarrollo de la obra después de concluidos los cimientos (componente 1.2.1 de la EDT del proyecto).

Se observa que, para el escenario ideal (escenario planificado), todas las actividades hasta la fecha de corte deberían estar completadas al cien por ciento: la fecha de corte aparece remarcada con la línea discontinua en el gráfico de barras; las barras de las actividades que se encuentran detrás de esta línea (aprobación de matriz de riesgo, movilización al sitio, excavar y armar cimientos, fundir y desencofrar cimientos, diseñar mobiliario, fabricar mobiliario, comprar equipo) aparecen rellenas con una línea negra que representa el avance de cada una estas, en este caso, 100 %.

Figura 55. Cronograma con avance ideal a la fecha de corte



Fuente: elaboración propia.

Las dimensiones clave para el EVM deberían contener los valores que muestra la tabla XXVI.

Tabla XXVI. **Parámetros ideales del EVM a la fecha de corte**

Caso de ejemplo	
Fecha de corte	04/06/2018
Indicador	Valor
BAC (presupuesto hasta la conclusión)	Q. 118 423,31
Avance planificado	34 %
Avance real	34 %
PV (valor planificado)	Q. 40 263,93
EV (valor ganado)	Q. 40 263,93
AC (costo real)	Q. 40 263,93

Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, a la fecha de corte, el avance real del proyecto resultó ser menor al planificado debido a que no ha habido ningún avance en la actividad fabricar mobiliario. La tabla XXVII presenta los valores reales de las dimensiones clave para el EVM del proyecto a la fecha de corte.

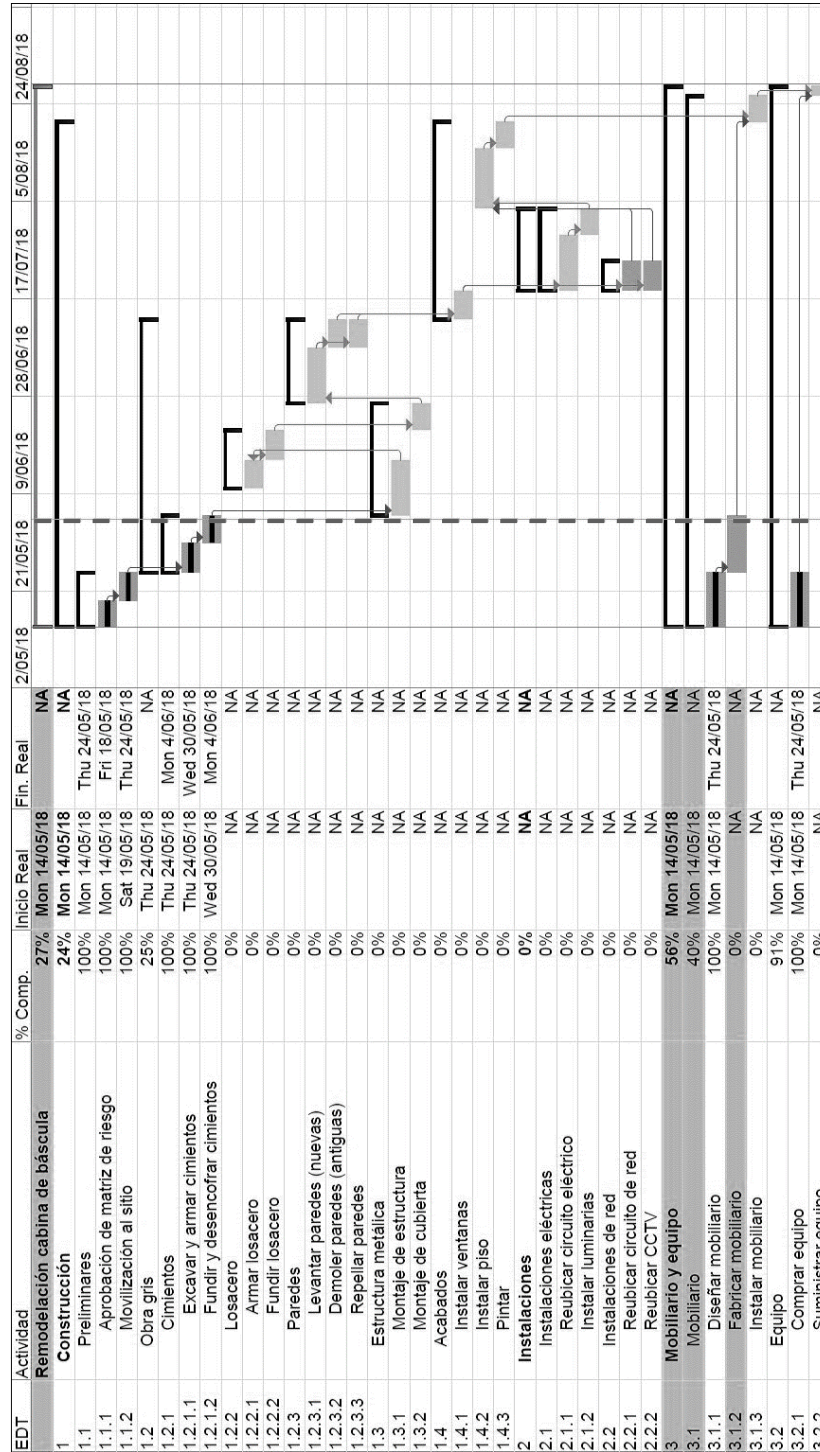
Tabla XXVII. **Parámetros reales del EVM a la fecha de corte**

Indicador	Valor
BAC (presupuesto hasta la conclusión)	Q. 118 423,31
Avance planificado	34 %
Avance real	27 %
PV (valor planificado)	Q. 40 263,93
EV (valor ganado)	Q. 31 974,29
AC (costo real)	Q. 31 974,29

Fuente: elaboración propia.

La figura 56 muestra el cronograma con el avance real a la fecha de corte.

Figura 56. Cronograma real del proyecto a la fecha de corte



Fuente: elaboración propia.

Se observa que la actividad fabricar mobiliario tiene un porcentaje completado de 0 %. A la fecha de corte, representada con la línea discontinua, esta actividad debería haber sido completada en su totalidad según se definió la programación inicial. Para el proyecto en general, esto ocasionó que el avance real fuera de un 27 % en vez del 34 % planificado. Por lo tanto, el valor ganado, EV, que se obtiene a partir del avance real, fue menor al valor planificado, PV.

Analizando detenidamente las razones del retraso en el cronograma, sale a luz un error dentro de la definición de la red, ya que la actividad fabricar mobiliario debería estar precedida por la actividad repellar paredes ya que previo a fabricar los muebles se deben revisar las medidas finales de la construcción para que el mobiliario case a cabalidad. Por lo tanto, lo que a primera vista parecía un retraso en el cronograma, resultó ser más bien un error dentro de la programación. Realizando los ajustes necesarios, los valores planificados y ganados del proyecto coinciden a este punto del proyecto, según se presenta en la tabla XXVIII.

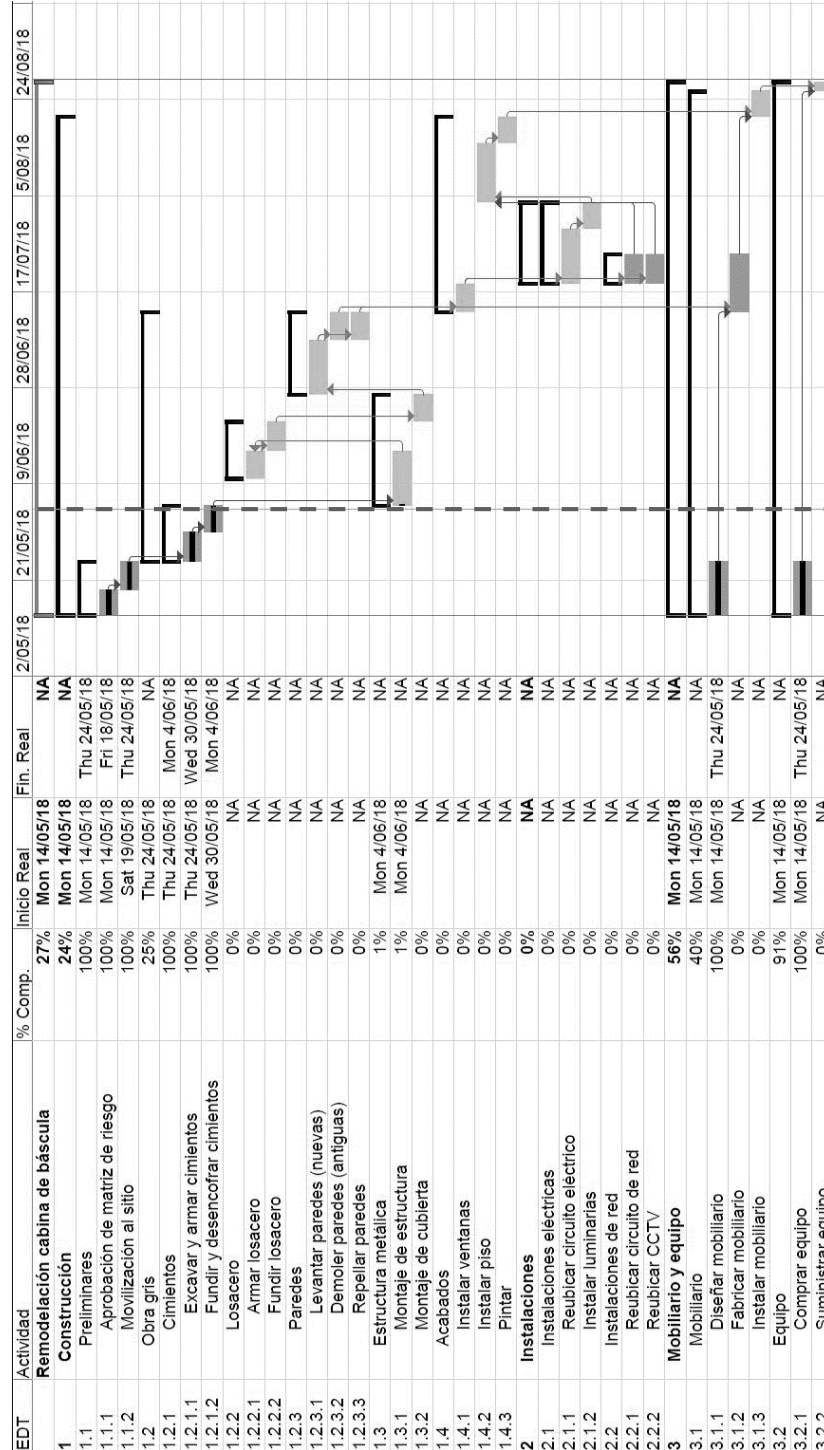
Tabla XXVIII. Parámetros corregidos del EVM a la fecha de corte

Indicador	Valor
BAC (presupuesto hasta la conclusión)	Q. 118 423,31
Avance planificado	27 %
Avance real	27 %
PV (valor planificado)	Q. 31 974,29
EV (valor ganado)	Q. 31 974,29
AC (costo real)	Q. 31 974,29

Fuente: elaboración propia.

La figura 57 presenta el cronograma con las correcciones realizadas dentro de la secuencia de actividades, colocando la actividad fabricar mobiliario precedida de la actividad repellar paredes.

Figura 57. Cronograma corregido a la fecha de corte



Fuente: elaboración propia.

Con estas correcciones, el valor planificado a la fecha de corte se calcula sobre 27 % en vez del 34 % anterior y, puesto que todas las actividades hasta esa fecha han sido concluidas, el valor ganado se calcula también sobre este 27 % para coincidir ambos resultados en un monto de Q. 31 974,29. En los apéndices de este trabajo se incluye una tabla con las fórmulas para el cálculo de cada uno de los valores de método de gestión del valor ganado.

8.2.1.1. Variaciones

Continuando con la metodología de la gestión del valor agregado, a partir de las dimensiones anteriores se procede a calcular las variaciones o desviaciones con respecto a las líneas bases aprobadas del cronograma y del presupuesto, definidas como⁵⁰:

- Variación del cronograma (*SV, schedule variation*). Determina en qué medida el proyecto está adelantado o retrasado en relación con la fecha de entrega, en un momento determinado.
- Variación del costo (*CV, cost variation*). Es el monto del déficit o superávit presupuestario en un momento dado, expresado como la diferencia entre el valor ganado y el costo real. La variación del costo es particularmente crítica porque indica la relación entre el desempeño real y los costos incurridos.

La tabla XXIX presenta las variaciones para el proyecto de ejemplo sobre la fecha en evaluación. Los valores de Q. 0,00 para ambas variaciones indican que

⁵⁰ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 2018.

el proyecto avanza según programación sin ninguna variación en la programación o el presupuesto.

Tabla XXIX. **Variaciones y desviaciones a la fecha de corte**

Caso de ejemplo	
Fecha de corte	04/06/2018
Indicador	Valor
SV (variación del cronograma)	Q. 0,00
CV (variación del costo)	Q. 0,00

Fuente: elaboración propia.

8.2.1.2. Indicadores de eficiencia

Los valores de SV y CV pueden convertirse en indicadores de eficiencia para reflejar el desempeño del costo y del cronograma, para comparar con otros proyectos y determinar el estado del proyecto. Los indicadores de eficiencia de la gestión del valor ganado se describen a continuación⁵¹:

- Índice de desempeño del costo (CPI, *cost performance index*). Es una medida de eficiencia del costo de los recursos presupuestados, expresado como la razón entre el valor ganado y el costo real. Se considera la métrica más crítica del EVM y mide la eficiencia del costo para el trabajo completado. Un valor de CPI inferior a 1,0 indica un costo superior al planificado con respecto al trabajo completado. Un valor de CPI superior a 1,0 indica un costo inferior con respecto al desempeño hasta la fecha.
- Índice de desempeño del cronograma (SPI, *schedule performance index*). Es una medida de eficiencia del cronograma que se expresa como la razón

⁵¹ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 219.

entre el valor ganado y el valor planificado. Refleja la medida de la eficiencia con que el equipo del proyecto está utilizando su tiempo. Un valor de SPI inferior a 1.0 indica que la cantidad de trabajo llevada a cabo es menor que la prevista; un valor superior a 1,0 indica que la cantidad de trabajo efectuada es mayor a la prevista.

La tabla XXX presenta los indicadores de eficiencia para el proyecto de ejemplo sobre la fecha en evaluación.

Tabla XXX. **Indicadores de eficiencia a la fecha de corte**

Caso de ejemplo	
Fecha de corte	04/06/2018
Indicador	Valor
CPI (índice de desempeño del costo)	1,0
SPI (índice de desempeño del cronograma)	1,0

Fuente: elaboración propia.

8.2.1.3. Pronósticos

Conforme avanza el proyecto, el equipo del proyecto puede desarrollar un pronóstico de la estimación del costo a la conclusión del proyecto, que puede diferir del presupuesto estimado originalmente, sobre la base del desempeño del proyecto⁵².

- Estimación a la conclusión (EAC, *estimated at completion*). Se calcula como la razón entre el BAC y el CPI e indica un estimado de cuál será el costo final del proyecto, pronosticado a partir de la fecha de corte.

⁵² Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 220.

- Estimación hasta la conclusión (*estimated to completion*, ETC). Permite estimar cuánto más costará el proyecto, pronosticado a partir del estado actual.
- Índice de desempeño del trabajo por completar (TCPI, *to-complete performance index*). Es una medida del desempeño del costo que se debe alcanzar con los recursos restantes a fin de cumplir con un determinado objetivo de gestión; se expresa como la tasa entre el costo para culminar el trabajo pendiente y el presupuesto restante. En otras palabras, es la proyección del desempeño del costo que debe lograrse para el trabajo restante con el propósito de cumplir con la meta.

La tabla XXXI presenta los pronósticos para el proyecto de ejemplo sobre la fecha en evaluación. Puesto que el proyecto no presenta ninguna variación sobre su cronograma o presupuesto hasta el momento del análisis, es lógico que los pronósticos arrojen valores iguales a los planificados y el índice de desempeño del trabajo por completar sea igual a 1.

Tabla XXXI. **Pronósticos para el proyecto en la fecha de evaluación**

Caso de ejemplo	
Fecha de corte	04/06/2018
Indicador	Valor
EAC (estimación a la conclusión)	Q. 118 423,31
ETC (estimación hasta la conclusión)	Q. 86 449,02
TCPI (índice de desempeño del trabajo por completar)	1,0

Fuente: elaboración propia.

Los pronósticos se generan, se actualizan y se emiten nuevamente sobre la base de los datos de desempeño del trabajo conforme se ejecuta el proyecto.

8.2.2. Informe del desempeño

Informar el desempeño consiste en “recopilar y analizar de manera periódica los datos reales del proyecto y compararlos con la línea base a fin de comprender y comunicar el avance y el estado del proyecto, así como pronosticar los resultados del mismo”.⁵³

El desempeño del proyecto se puede presentar al equipo del proyecto mediante la elaboración de un informe de estado. “Un informe de estado simple puede mostrar información básica del desempeño como el porcentaje completado o los indicadores de estado”. Los informes más elaborados pueden incluir⁵⁴:

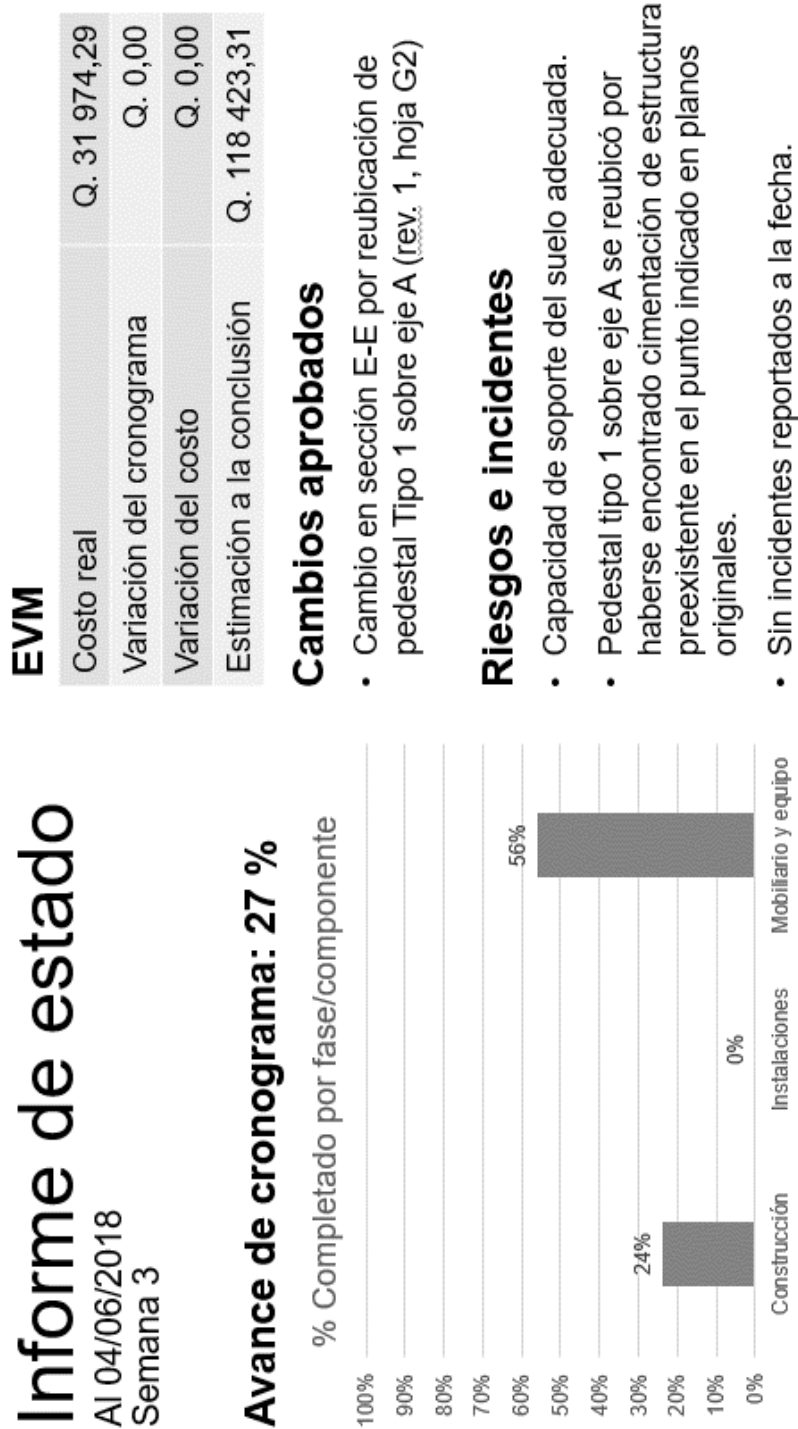
- El análisis del desempeño pasado y proyecciones del proyecto (incluidos tiempos y costos).
- El estado actual de los riesgos e incidentes.
- El trabajo completado durante el período.
- El trabajo por completar en el siguiente período.
- El resumen de los cambios aprobados en el período.

La frecuencia con la que se debe medir, evaluar y reportar el progreso en el campo depende del grado de control deseable y factible para el trabajo en particular. Los proyectos de ritmo acelerado pueden exigir informes diarios de progreso; los trabajos a gran escala pueden utilizar una frecuencia de informe semanal o mensual. La figura 58 presenta un informe de estado para el proyecto de ejemplo que incluye los resultados del análisis EVM del ejemplo anterior y otros aspectos críticos del desempeño del proyecto.

⁵³ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 301.

⁵⁴ *Ibíd.*

Figura 58. Informe de estado del proyecto de ejemplo



Fuente: elaboración propia.

8.2.3. Toma de decisiones

El flujo de información sobre el desempeño del proyecto tiene como objetivo orientar y facilitar la toma de decisiones al equipo del proyecto. Las decisiones por tomarse deben ser evaluadas cuidadosamente para asegurar que resulten viables y que sean de beneficio para el proyecto.

Disposiciones como: cambios en los métodos de construcción, cambios de proveedores o contratistas, modificaciones al alcance del proyecto, ampliaciones presupuestarias, o iniciativas para la prevención de riesgos, por ejemplo, pueden afectar sensiblemente el desempeño de la obra y, por lo tanto, deben analizarse y debatirse entre el equipo del proyecto previo a su implementación.

8.2.3.1. Reuniones

Estos debates y diálogos se llevan a cabo “normalmente a través de reuniones, las cuales se pueden realizar de manera presencial o virtual desde diferentes ubicaciones, tales como las instalaciones del proyecto o las instalaciones del propietario”⁵⁵.

La tabla XXXII presenta una propuesta de plantilla para la planificación de la reunión y el registro de las decisiones tomadas, así como el seguimiento de las acciones derivadas de estas decisiones. En el campo de temas se detallan los puntos a tratar durante la reunión y el tiempo designado a cada punto. En el campo decisiones se anotan las decisiones tomadas durante la reunión y en el campo acciones se enumeran las acciones a seguir en función de cada decisión asignándoles un responsable y fecha de cumplimiento.

⁵⁵ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 295.

Tabla XXXII. **Plantilla para agenda de reunión y registro de decisiones**

Reunión #	Ubicación	Fecha	Inicio	Fin
Presentes		Ausentes		
Agenda – Temas				
	Revisar agenda			Duración 5 min
	Tema 1			10 min
	Tema 2			15 min
	Identificación y evaluación de riesgos			15 min
	Revisar y actualizar registros de decisiones y acciones			5 min
Decisiones				
No	Tema o asunto		Decisión	
Acciones				
No	Acción	Responsable	Fecha de cumplimiento	Estado

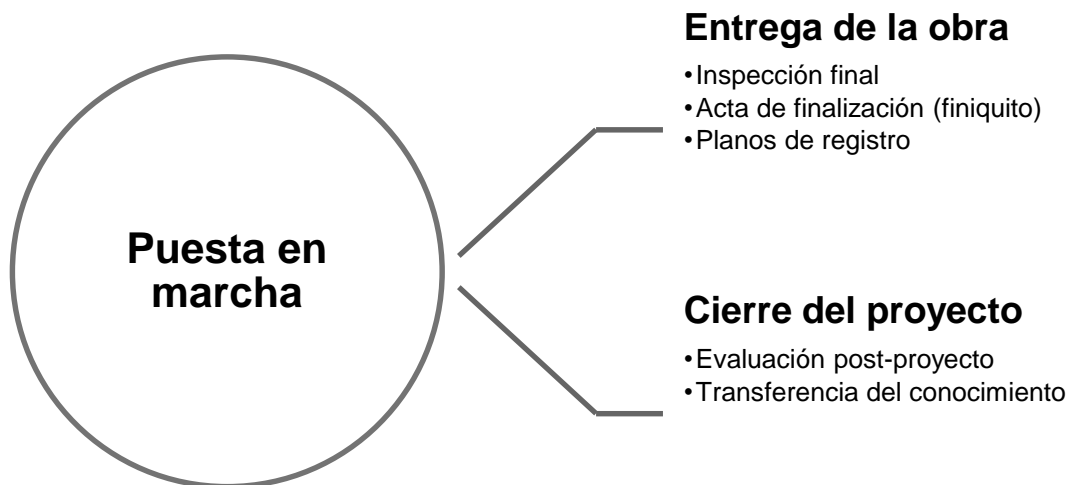
Fuente: elaboración propia.

9. PUESTA EN MARCHA CON IMPLEMENTACIÓN DEL PMBOK

La puesta en marcha es la fase final del proyecto. Una vez concluida la construcción, corresponde al gerente del proyecto entregar la obra al propietario y realizar el cierre con el equipo del proyecto.

La figura 59 ilustra los procesos de esta fase.

Figura 59. **Procesos de la puesta en marcha del proyecto**



Fuente: elaboración propia.

9.1. Entrega de la obra

La entrega del proyecto al propietario debe realizarse después de asegurarse de que todo el trabajo del proyecto está completo y de que este ha alcanzado sus objetivos. Por lo tanto, el gerente del proyecto deberá, previamente, recibir a satisfacción los trabajos realizados por el contratista general y por cada uno de los contratistas especializados. La recepción de estos trabajos se realiza mediante inspección de la obra, tal y como se describe en el párrafo siguiente.

9.1.1. Inspección final

En un procedimiento típico, el contratista, habiendo logrado una finalización sustancial, solicita una inspección preliminar. El gerente del proyecto, en compañía del contratista general y de un representante del propietario, inspecciona el trabajo. Se compone una lista de insatisfactorios que describe todas las deficiencias observadas para su corrección. Una vez finalizado el trabajo y subsanadas todas las deficiencias, se lleva a cabo una inspección final para validar que las deficiencias hayan sido corregidas.

La tabla XXXIII presenta una propuesta de plantilla para el registro de las deficiencias detectadas durante la inspección preliminar. La información utilizada en la plantilla corresponde al proyecto de remodelación de la cabina de báscula que se ha venido desarrollando a lo largo de los capítulos anteriores. En la primera sección de la plantilla se incluye la información relacionada con la inspección y en la sección inferior se detallan las deficiencias detectadas junto con las acciones requeridas para solventarlas, el responsable de la ejecución de estas acciones y la fecha pactada para su cumplimiento.

Tabla XXXIII. Registro de deficiencias

Caso de ejemplo					
Inspección #	Ubicación	Fecha	Inicio	Fin	Con copia a
8	Planta de agregados	26/07/2018	10:00	11:00	Gerente de operaciones
Presentes	Coordinador de proyectos Jefe de planta Contratista general		Ausentes	Coordinador de S&SO	

No.	Deficiencia:	Acción requerida	Responsable	Fecha de cumplimiento	Estado
1	Pintura incompleta bajo escritorios de operadores	Completar trabajos solicitando al operador suspensión temporal de tareas.	Jefe de planta, Contratista general	28/07/2018	Sin iniciar
2	Espacio abierto entre losa y cubierta metálica, propenso a ingreso de animales, basura, etc.	Sellar con franja metálica y sabieta en la junta. Incluir trabajo en registro de cambios.	Contratista general	30/07/2017	Sin iniciar.
3	...				

Fuente: elaboración propia.

La figura 60 presenta la corrección registrada en el numeral dos de la tabla anterior. El espacio abierto entre la losa existente y la cubierta nueva fue sellado con la colocación de una franja metálica y la aplicación de sabieta. Si bien esta era una actividad que debió haberse contemplado dentro del diseño, su ausencia no se detectó sino hasta la inspección preliminar al contratista.

Figura 60. **Corrección de deficiencia: sellado de espacio abierto**



Fuente: elaboración propia.

9.1.2. Acta de finalización (finiquito)

Después de recibida la obra sin defectos, o después de subsanados los mismos, se procede a la firma del acta de finalización de la obra lo que significa que esta ha sido construida y entregada conforme a lo pactado en el contrato. El acta deberá ser firmada por el gerente del proyecto, el contratista en cuestión y el propietario o su representante; se hace una aceptación formal por escrito del proyecto y se habilita de esta forma al contratista para que pueda presentar su

solicitud para el pago final. A partir de la firma de este documento, se inician los plazos de garantía aplicables.

La figura 61 presenta el desarrollo de la obra desde sus cimientos hasta sus acabados finales.

Figura 61. **Imágenes del desarrollo de la obra constructiva**



Fuente: elaboración propia.

9.1.3. Planos de registro

El juego de planos de registro consiste en el conjunto revisado de planos presentado por el contratista al finalizar un proyecto o un trabajo en particular. Refleja todos los cambios realizados en las especificaciones y los planos durante el proceso de construcción, y muestra las dimensiones exactas, la geometría y la ubicación de todos los elementos del trabajo completado bajo el contrato.

Estos planos resultan de gran utilidad especialmente para el mantenimiento de las instalaciones durante la vida útil del proyecto, por lo que se recomienda la entrega de una copia completa al propietario y la conservación de otra en los archivos del proyecto.

9.2. Cierre del proyecto

Después de concluidos los compromisos hacia el propietario, contratistas y demás interesados, corresponde al gerente del proyecto dirigir el último proceso: el cierre del proyecto. Cerrar el proyecto proporciona al equipo del proyecto retroalimentación sobre las “lecciones aprendidas, la finalización formal del trabajo, y la liberación de los recursos de la organización para afrontar nuevos proyectos”⁵⁶.

9.2.1. Evaluación postproyecto

La evaluación posterior al proyecto debe ponderar el éxito de los esfuerzos de planificación y programación del proyecto. El equipo del proyecto debe decidir si el plan del proyecto y sus programas asociados fueron útiles durante la

⁵⁶ Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 100.

construcción. Si no lo fueron, se debe realizar un análisis adicional para determinar por qué y cómo hacer que la planificación sea más significativa en el trabajo futuro. En la evaluación post proyecto se deben revisar también los resultados finales del proyecto, principalmente los aspectos del costo y duración, y detectar las oportunidades de mejora dentro de las prácticas de gestión. Este paso final en la evolución de un proyecto es fundamental para el avance de una empresa constructora.

9.2.2. Transferencia del conocimiento

La experiencia es un activo valioso en el negocio de la construcción. En esta industria de alto riesgo, la experiencia permite reducir costos, mejorar la producción y tener éxito en los proyectos. El gerente del proyecto debe contar con un medio eficaz de obtener, documentar y transferir la experiencia del proyecto para su utilización en futuros trabajos. Para lograr este objetivo se sugiere reunir al personal clave del proyecto para una sesión final en la que se describan y registren las lecciones aprendidas durante el desarrollo de los trabajos, así como cualquier procedimiento o proceso especializado utilizado en el proyecto desde su diseño hasta su entrega.

La tabla XXXIV presenta una propuesta de plantilla para el registro de las lecciones aprendidas. En la primera parte se resumen los resultados positivos más significativos del proyecto, así como aquellos que pueden mejorar. En la segunda parte, se analizan a detalle las lecciones aprendidas más relevantes. El registro puede contar con la cantidad de lecciones aprendidas que se consideren necesarias incluir en función de que la transferencia de conocimientos para proyectos futuros sea más completa y enriquecedora.

Tabla XXXIV. Registro de lecciones aprendidas

Sumario de aprendizaje	
¿Qué salió bien?	¿Qué puede ser mejorado?
El haber incluido a un especialista en diseño en la fase inicial del proyecto y su acompañamiento durante la construcción fue de gran beneficio para la resolución de conflictos. La participación de los beneficiarios del proyecto en el diseño del mobiliario permitió encontrar la solución óptima a sus necesidades.	No se participó a ningún especialista en la rama eléctrica al inicio del proyecto, lo que causó que no se previeran trabajos que fue necesario llevar a cabo para la redistribución de los circuitos eléctricos. Esto generó gastos adicionales y el retraso de la entrega completa de la obra.
Lista de lecciones aprendidas	
Lección aprendida No.	1-2018
Tema o asunto	Inclusión de especialistas en todas las ramas involucradas en el diseño.
¿Qué ocurrió?	No se incluyó a ningún especialista eléctrico durante la planificación de los trabajos, lo que dio como resultado asumir erróneamente las condiciones de la instalación existente.
¿Por qué ocurrió?	Se concentraron los esfuerzos en el diseño estructural y arquitectónico y en la planificación de los trabajos constructivos con las restricciones planteadas. Se asumió erróneamente la ubicación de la acometida eléctrica, la cual resultó estar ubicada en un sitio que requirió de trabajos adicionales para ser acondicionada a las necesidades de la distribución eléctrica considerada dentro del diseño.
¿Cuál es la lección aprendida?	Se debe considerar la participación de especialistas de todas las ramas involucradas en el proyecto para incluir, en su totalidad, las actividades de cada componente del trabajo dentro de la red del proyecto. No se deben asumir condiciones ideales.
Persona de referencia	Gerente del proyecto

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Un proyecto es un emprendimiento temporal que busca la solución de un problema o aprovechamiento de una oportunidad. Para el caso de proyectos de construcción, esta solución del problema o aprovechamiento de la oportunidad se materializa a través de una obra de construcción.
2. El ciclo de vida de un proyecto de construcción está compuesto por las fases de: inicio, planificación, construcción y puesta en marcha.
3. La guía del PMBOK es el estándar globalmente aceptado para la dirección de proyectos. Contiene buenas prácticas reconocidas y actualizadas con frecuencia por un grupo de profesionales dedicados a la materia. Los grupos de proceso y áreas de conocimiento del PMBOK pueden ser aplicados en la dirección de proyectos de construcción, si bien no todos los procesos se aplican en todos los proyectos.
4. El método de ruta crítica facilita las operaciones de planificación, control y comunicación del proyecto. Su aplicación se basa en la secuenciación de las actividades conformando un diagrama de red de actividades que servirá como base para la programación de los trabajos y la estimación de un presupuesto.
5. La gestión de un proyecto de construcción puede estructurarse en una secuencia lógica de procesos enmarcados dentro del ciclo de vida del proyecto. Estos procesos se esquematizan en el inicio del capítulo 5: metodología para la gestión de proyectos.

RECOMENDACIONES

1. En el caso en el que las especificaciones del proyecto no estén definidas o el proyecto se encuentre aún en forma de una necesidad y oportunidad no atendida del cliente, se deben realizar los procesos necesarios para comprender y definir claramente el propósito y los objetivos del proyecto que puedan dar atención a esta necesidad u oportunidad. Estos procesos se describen en el capítulo 6: concepción y diseño.
2. Definir los alcances del proyecto mediante la enunciación de especificaciones, exclusiones, y restricciones para generar expectativas claras en los interesados en cuanto a la obra que se construirá. De omitir este paso, se corre el riesgo de que el proyecto se extienda indefinidamente, de que se omitan elementos que el cliente daba por sentado que se incluirían.
3. Iniciar formalmente todo proyecto con un documento o acta que describa sus generalidades (objetivos, interesados, estrategia, presupuesto y cronograma preliminares) y sirva como instrumento de aprobación al propietario. Esto brindará un inicio formal al proyecto y comprometerá debidamente al propietario, al gerente del proyecto y al resto del equipo del proyecto.
4. Iniciar la planificación con una estructura de desglose de trabajo que permita identificar las cuentas de control, paquetes de trabajo y actividades del proyecto. Esto permitirá contar con un esquema completo

del trabajo a realizar y constituye un punto de referencia para desarrollar el resto de planificación del proyecto.

5. Iniciar la fase de planificación con una estructura de desglose de trabajo. La elaboración de esta estructura permitirá dimensionar el alcance de la obra constructiva y establecer una jerarquía de los trabajos a realizar, y conformar los paquetes de trabajo del proyecto.
6. Elaborar un diagrama de red para establecer la secuencia de las actividades del proyecto partiendo de la estructura de desglose de trabajo. Esto se puede realizar con métodos simples y prácticos, como el uso de notas adheribles y un pizarrón descrito en el capítulo 7: planificación. Elaborar el diagrama permitirá evaluar la mejor secuencia de las actividades previo a integrarlas al cronograma.
7. Evaluar tempranamente los riesgos a los que está expuesto el proyecto y formular respuestas potenciales para mitigar o minimizar su impacto. Tener una idea temprana de los riesgos a los que el proyecto pueda estar expuesto permitirá tomar decisiones oportunas en cuanto a prácticas constructivas y asignación de recursos.
8. Elaborar una integración ascendente de costos que permita identificar los costos asociados a cada paquete de trabajo. De esta forma, se podrá controlar el avance del proyecto aplicando la gestión del valor ganado para detectar cualquier variación entre en la línea base del cronograma o del presupuesto y el avance real.
9. Establecer fechas o eventos específicos para el control del avance del proyecto utilizando el método de gestión del valor ganado (EVM). Esto

permitirá comunicar el estado del proyecto con datos concretos para el análisis y toma de decisiones.

10. Programar reuniones periódicas para la presentación de resultados del proyecto, así como para debatir y analizar aspectos importantes para el equipo y tomar decisiones relativas al desarrollo del proyecto. Definir la agenda previa a cada reunión y registrar las decisiones tomadas. En el capítulo 8 se presenta una plantilla propuesta para este registro.
11. Efectuar un control integrado de los cambios suscitados durante la ejecución del proyecto verificando cómo cada cambio afecta el presupuesto y la programación para realizar las actualizaciones respectivas en las líneas base.
12. Realizar inspecciones preliminares al concluir cada componente mayor del proyecto. Como se indica en el capítulo 9, se debe realizar un registro de inconformidades que establezca el compromiso para su atención.
13. Dejar registro de la finalización de la obra y de la aceptación de los trabajos por parte del propietario mediante un acta de finalización o finiquito de la obra.
14. Realizar la evaluación postproyecto para documentar las lecciones aprendidas y evitar repetir errores en otros proyectos. La evaluación postproyecto ofrece también la oportunidad de actualizar los costos de los trabajos para afinar futuras estimaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. ÁLVAREZ, Lorena. 2018. *Construirán vivienda económica para segmento C- y D+*. [en línea]. elPeriódico, 3 de agosto de 2018. <elperiodico.com.gt>. [Consulta: 21 de septiembre de 2019].
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Biblioteca*. [en línea]. AGIES. <<http://www.agies.org/bibliotecas/>>. [Consulta: 30 de junio de 2019].
3. Banco de Guatemala. *Producto interno bruto trimestral*. [en línea]. BANGUAT. <<https://www.banguat.gob.gt/inc/main.asp?id=84369&aud=1&lang=1>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2019].
4. BELLOMUSTO, Raúl. 2019. *Gestión de costos del proyecto*. s.l. : ADEN Business School, 2019. 24 p.
5. BIAFORE, Bonnie. 2016. *Project Management Foundations*. [en línea] www.linkedin.com/learning. LinkedIn Corporation, 2016. [Consulta: 30 de mayo de 2017.] <https://www.linkedin.com/learning/project-management-foundations-2016>.
6. Bluebeam. Bluebeam Revu: *Transform the way you build*. [en línea] Bluebeam. <<https://www.bluebeam.com/solutions/revu>>. [Consulta: 1 de junio de 2019].
7. Cámara Guatemalteca de la Construcción. 2019. *Guía para la elaboración del plan de salud y seguridad para el sector*

construcción. Guatemala : Programa S&SO Sector Construcción, 2019. 64 p.

8. Cámara Guatemalteca de la Construcción. *Indicadores de la Construcción*. [en línea]. Construguate. <<http://construguate.com/servicios/indicadores-de-la-construccion/#credconst>>. [Consulta: 4 de mayo de 2019].
9. CLOUGH, Richard H., SEARS, S. Keoki y SEARS, Glenn A. 2008. *Construction Project Management: A Practical Guide to Field Construction Management*. 5a edición. Nueva Jersey : John Wiley & Sons, Inc., 2008. 408 p.
10. CROFT, Chris. 2014. *Project management simplified*. [en línea]. LinkedIn Corporation. <<https://www.linkedin.com/learning/project-management-simplified/using-network-diagrams>>. [Consulta: 23 de mayo de 2017].
11. Demaquinasyherramientas.com. *Construcción en seco: ¿Cómo instalar y nivelar placas más rápida y eficientemente con el nivel láser?* [en línea]. De máquinas y herramientas. <<https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-de-medicion/construccion-en-seco-aplicaciones-nivel-laser>>. [Consulta: 1 de junio de 2019].
12. Drones Etc. *Drones and 3-D mapping*. [en línea]. Drones etc. <<https://www.dronesetc.com/blogs/news/drones-and-3-d-mapping>>. [Consulta: 1 de junio de 2019].
13. Gobierno de Guatemala. *Guatecompras.gt*. [en línea]. Guatecompras. <<http://www.guatecompras.gt/default.aspx>>. [Consulta: 1 de junio de 2019].

14. Forsa S.A. 2017. *Encofrados en aluminio - Forsa Alum*. [en línea]. Forsa. <<https://www.forsa.com.co/solucion-vivienda/encofrados-en-aluminio-forsa-alum/>>. [Consulta: 28 de septiembre de 2019].
15. HDR. IPD in Real-Time: *Designing and Building the New Parkland Hospital*. [en línea]. HDR. <<https://www.hdrinc.com/insights/ipd-real-time-designing-and-building-new-parkland-hospital>>. [Consulta: 28 de septiembre de 2019].
16. High End Projects. 2018. *Superintendente vs project manager*. [en línea] High End Projects. <<https://www.hep.com.mx/single-post/2018/05/11/Superintendente-Vs-Project-Manager>>. [Consulta: 4 de mayo de 2109].
17. Holcim. 2003. *Project Management Approach (PMA) for small projects*. s.l. : Holcim, enero del 2003. 6 p.
18. Lean Construction Institute. 2019. *Pull planning*. [en línea] Lean Project. <<https://www.leanproject.com/what-we-do/key-components/lean-tools-techniques/pull-planning/>>. [Consulta: 1 de junio de 2019].
19. LIEBING, Ralph. 2000. *The construction industry: processes, players, and practices*. s.l. : Pearson, 2000. 205 p.
20. MCMORROUGH, Julia. 2006. *Materials, structures and standards: all the details architects need to know but can never find*. Massachusetts : Rockport Publishers, 2006. 264 p.
21. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. 2016. Reglamento de evaluación, control y seguimiento. *Acuerdo Gubernativo 137-2016*. 11 de julio de 2016. 77 p.

22. Ministerio de Trabajo y Previsión Social. 2014. Reglamento de salud y seguridad ocupacional. *Acuerdo Gubernativo 229-2014*. 87 p.
23. MITCHELL, Sandra. 2018. Cert Prep: *Project Management Professional (PMP)*. [en línea]. LinkedIn Corporation. <<https://www.linkedin.com/learning/cert-prep-project-management-professional-pmp>>. [Consulta: 5 de marzo de 2017].
24. PreCon. 2013. *Procesos para el armado de losas prefabricadas con vigueta y bovedilla o molde LK*. Guatemala, Guatemala. 15 p.
25. Progressa Lean. *Lean Construction: la mejora continua en el sector de la construcción*. [en línea]. Progressa Lean. <<https://www.progressalean.com/lean-construction-mejora-continua-sector-construccion/>>. [Consulta: 7 de junio de 2019].
26. Project Management Institute. 2016. *Construction extension to the PMBOK Guide*. Pensilvania : Project Management Institute, Inc., 2016. 232 p.
27. Project Management Institute. 2013. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Quinta edición. Pensilvania : Project Management Institute. 616 p.
28. RICHMAN, Larry. 2012. *Improving your project management skills*. 2a edición. Nueva York : American Management Association. 221 p.
29. RINCÓN, Mildrey. 2019. *Trasciende La Parroquia, primer proyecto MUVI*. [en línea]. República. <<https://republica.gt/2019/05/10/trasciende-la-parroquia/>>. [Consulta: 22 de septiembre de 2019].
30. ROBBINS, Ted E. 1999. Especificaciones. [aut. libro] Frederick S. Merritt, M. Kent Loftin y Jonathan T. Ricketts. *Manual del Ingeniero Civil*.

México, D. F. : McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.,
1999, Vol. I. 467 p.

31. ROGERS, Jim. 2017. *Construction management foundations*. [en línea]. LinkedIn Corporation. <<https://www.linkedin.com/learning/construction-management-foundations>>. [Consulta: 8 de julio de 2017].
32. SOLARES, José A. 2018. *Generación de vivienda accesible en zonas urbanas*. [en línea]. Revista Construcción. <<http://revistaconstruccion.gt/sitio/2018/06/29/generacion-de-vivienda-accesible-en-zonas-urbanas/>>. [Consulta: 21 de septiembre de 2019].
33. THOMSETT, Michael C. 2010. *The Little Black Book of Project Management*. 3a edición. Nueva York : American Management Association. 272 p.
34. WebFinance Inc. 2019. *As-built drawings*. [en línea]. Business Dictionary. 2019. <<http://www.businessdictionary.com/definition/as-built-drawings.html>>. [Consulta: 8 de junio de 2019].

APÉNDICES

Apéndice 1. Estructura de desglose de meta

La estructura de desglose de meta es una estructura lógica y jerárquica que demuestra, a niveles crecientes de detalle, los resultados que un proyecto debe lograr. Cada uno de estos niveles fue expuesto en el capítulo 6, en la definición del proyecto.

Figura A1. Estructura de desglose de meta



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Causas más comunes de riesgos en los proyectos de construcción**

En este apéndice se presentan por categoría algunos de los riesgos potenciales más frecuentes en proyectos de construcción, extraídos de la extensión para la construcción de la guía PMBOK. Como se indica en el mismo documento, la lista no pretende ser exhaustiva sino informativa, por lo que se recomienda que cada organización desarrolle su lista de riesgos adecuada a los proyectos en que esté comprometida.

- Riesgos durante el diseño y planificación
 - Diseño incompleto e inadecuado.
 - Conocimiento incompleto de las condiciones del sitio.
 - Experiencia insuficiente en el tipo de proyecto específico.
 - Selección incorrecta de método de construcción.
 - Selección incorrecta de equipo y materiales.
 - Estimaciones estructurales o de suelos incorrectas.
 - Indisponibilidad de servicios de utilidad.
 - Falta de consultores especializados en aspectos críticos del proyecto.
 - Sobreinvolucramiento del propietario en el diseño.

Continuación del apéndice 2.

- Cambios continuos en el alcance del proyecto.
- Retrasos en obtención de aprobación del propietario.
- Diseño excede presupuesto disponible.
- Estimación incompleta del costo del proyecto.
- Programación imprecisa del proyecto.
- Riesgos durante la construcción
 - Capacidad de contratistas y subcontratistas.
 - Negligencia y actos maliciosos.
 - Coordinación ineficiente.
 - Indisponibilidad en tiempo de materiales y equipos.
 - Entregas retrasadas.
 - Equipo y materiales inapropiados.
 - Conocimiento deficiente en métodos de construcción específicos.
 - Horarios de trabajo restringidos.
 - Regulaciones de salud y seguridad.

Continuación del apéndice 2.

- Ruido, contaminación y emisiones.
- Accidentes y lesiones.
- Cambios en ordenes de trabajo.
- Ausencia de planos o nivel pobre de detalle en los mismo.
- Costos inesperados de pruebas y muestreos.
- Accesos al sitio.
- Disponibilidad de servicios públicos.
- Sobrecarga de recursos.
- Interferencia entre frentes de trabajo.
- Condiciones imprevistas del subsuelo.
- Condiciones climáticas inesperadas
- Asalto, vandalismo, sabotaje.
- Ocupación ilegal del sitio.
- Insolvencia del contratista, subcontratista o proveedor.
- Dependencia de una misma fuente.

Continuación del apéndice 2.

- Retrasos en pagos contractuales.
- Trabajo inesperado y extras.
- Disputas laborales
- Riesgos externos
 - Expectativas del cliente en cuanto a calidad y desempeño mayores a lo documentado.
 - Nuevos interesados con poder.
 - Inestabilidad económica y política.
 - Cambios en regulaciones.
 - Conflicto de intereses entre el proyecto y las comunidades locales.
 - Vecindario rechazando el proyecto.
 - Organizaciones no gubernamentales oponiéndose al proyecto.
 - Protección al patrimonio histórico, arqueológico o artístico.
 - Intereses antropológicos o biológicos.
 - Complejidad y burocracia en procedimientos de aprobación.

Continuación del apéndice 2.

- Sensibilidad política.
- Derechos de vía.
- Riesgos de gestión
 - Identificación incompleta de interesados.
 - Portafolio de proyectos sobrecargado.
 - Tiempo insuficiente para planificar.
 - Malentendidos en el equipo.
 - Propósito, necesidades, objetivos, o entregables pobremente definidos o entendidos.
 - Financiamiento y tasas de interés.
 - Cantidad de patrocinadores del proyecto involucrados en la toma de decisiones.
 - Procedimiento deficiente de selección de contratistas.
 - Definición errónea de prioridades.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Plantilla para definición del proyecto**

A continuación, se proponen dos plantillas para ser usadas como referencia durante la fase de concepción y diseño. La primera para la definición del proyecto y la segunda para sus alcances.

Tabla A. **Plantilla para definición del proyecto**

Necesidades / oportunidades		
Problema	Propósito	
Interesados		
Nombre / posición	Rol	Poder / interés
Objetivos		Requisitos
Alternativas		
Estrategia	Pros	Contras
Información del proyecto		
Descripción	Duración estimada	Costo preliminar
Riesgos		Respuestas iniciales
Director del proyecto		Responsabilidades

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 3.

Tabla B. **Plantilla para definición del alcance**

Requisitos	Especificaciones

Restricciones

Exclusiones

Supuestos	Riesgos en caso de no cumplirse

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Determinación de ruta crítica, tiempos y holguras**

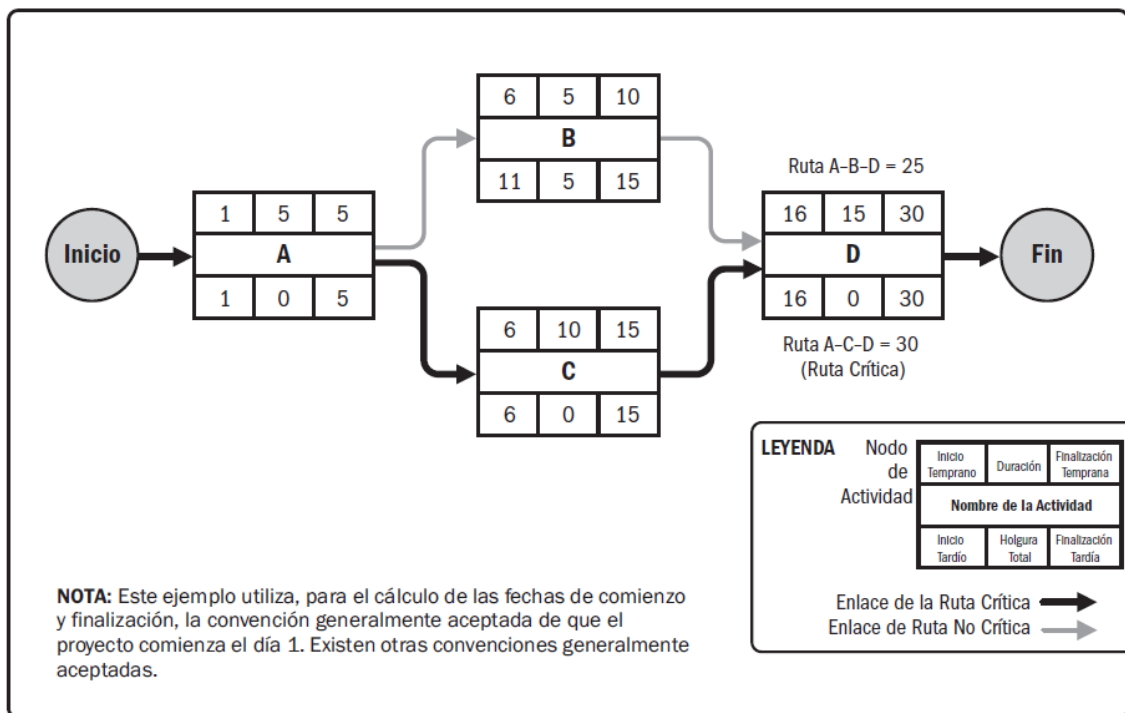
A continuación, se presentan los cálculos realizados para la determinación de la ruta crítica, los tiempos de inicio y finalización tempranos y tardíos, y la holgura total para cada actividad, de la imagen de ejemplo presentada en el capítulo 4, misma que se reproduce nuevamente en la figura A2.

En esta figura se observa un proyecto conformado por cuatro actividades: A, B, C, D conectadas por medio de relaciones del tipo final a inicio. Cada una de estas actividades posee valores de tiempo definidos dentro de cada uno de los seis cuadros incluidos a su vez dentro del recuadro de la actividad, conocido como nodo. Estos valores corresponden a los parámetros establecidos en el recuadro leyenda.

Continuación del apéndice 4.

La ruta crítica está representada gráficamente por la flecha de color negro que conecta a las actividades con un valor de holgura total igual a cero.

Figura A2. Diagrama para el ejemplo del cálculo de la ruta crítica



Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 177.

- Ruta crítica. Para calcular la ruta crítica, se deben identificar todas las rutas en la red. En este ejemplo, la primera ruta es Inicio-A-B-D-Fin y la segunda es Inicio-A-C-D-Fin. Una vez identificadas las rutas, se suman las duraciones para cada una y la ruta crítica será la de mayor duración:

Continuación del apéndice 4.

$$\text{Inicio-A-B-D-Fin} = 5+5+15 = 25$$

$$\text{Inicio-A-C-D-Fin} = 5+10+15 = 30$$

Por lo tanto, la ruta Inicio-A-C-D-Fin es la ruta crítica.

- Inicio y finalización tempranos. La fórmula para recordar es: $EF=ES+Duración-1$ siempre que se siga la convención, generalmente aceptada, de que el proyecto inicia en el día 1. De esta forma, para la primera actividad, el ES siempre será 1, y el EF para la actividad A será $1+5-1=5$; el 5 representa el final del día en el día 5. La siguiente actividad, actividad B, inicia la mañana del día 6; por lo tanto, el ES para la actividad B es 6, y el EF se calcula con la fórmula $6+5-1=10$. Para el caso de la actividad D, su inicio temprano depende de la finalización temprana de las actividades predecesoras, B y C, tomando en cuenta la mayor de estas. De esta forma, el ES para la actividad D será 16, y su EF se calcula como $16+15-1=30$. Como chequeo final, el EF del proyecto siempre será el mismo que la ruta crítica, en este caso, 30.
- Inicio y finalización tardíos. El cálculo de los inicios y finalizaciones tardíos se realizan en sentido inverso a como se realizó el cálculo de los tiempos de inicio y finalización tempranos, es decir, empezando desde el final del proyecto en dirección hacia el inicio. La fórmula para recordar en este caso es $LS=LF-Duración+1$. Empezando con la actividad D, cuyo LF corresponde el mismo valor que su EF por tratarse de la última actividad, el LS se calcula como $30-15+1=16$. Puesto que el primer día de la actividad D fue 16, el último día para las actividades B y C debe ser 15.

Continuación del apéndice 4.

- Los inicios tardíos para estas actividades se obtienen de $15-5+1=11$ y $15-10+1=6$ respectivamente. Puesto que la actividad A tiene dos sucesoras, su LF se obtiene del menor LS entre las actividades B y C, es decir, 6. Por tanto, para la actividad A el LS se calcula como $5-5+1=1$. Si los cálculos se han realizado correctamente, el valor del LS de la primera actividad siempre será 1. Se habrá notado además que, para las actividades de la ruta crítica, se cumple que $ES/LS=EF/LF=1$; esta es otra forma de chequear que los cálculos se han realizado de forma correcta.
- Holgura: La flexibilidad de un cronograma se mide como la cantidad de tiempo que una actividad puede ser retrasada o extendida desde su inicio temprano sin retrasar las fechas de finalización del proyecto, y se le conoce como holgura total. En la ruta crítica, la holgura es siempre "0". Para calcular la holgura de cada actividad, se utiliza cualquiera de las fórmulas $LS-ES$ o $LF-EF$. Utilizando el mismo diagrama de ejemplo, las holguras para las actividades A, B, C, D, se calculan como $1-1=0$, $11-6=5$, $6-6=0$, $16-16=0$, respectivamente. Se puede observar que las actividades A, C y D tienen holgura 0, lo que significa que, si alguna de estas actividades es retrasada, el proyecto será retrasado. Por otro lado, la actividad B tiene holgura de 5 días, lo que significa que puede retrasarse 5 días antes de afectar a su sucesora, la actividad D.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. Gestión del valor ganado

En el capítulo 8 se desarrolló la metodología de la gestión del valor ganado, EVM, como una herramienta para la medición del progreso del proyecto. Mediante el análisis de un sencillo proyecto de ejemplo se presentan, a continuación, las fórmulas utilizadas para la determinación de los índices e indicadores del método.

Ejemplo: un proyecto de construcción debe ser completado en 12 meses y el costo total del proyecto es de Q. 100 000. Seis meses han pasado y se ha gastado Q. 60 000 y el cronograma indica que el 50 % del trabajo aún debe ser completado. Después de una revisión a detalle, el gerente del proyecto ha encontrado que sólo el 40 % del trabajo ha sido completado.

Tabla C. Fórmulas del EVM

Indicador	Fórmula	Valor
Presupuesto a conclusión (BAC)	Presupuesto total	Q. 100 000
Valor planeado (PV)	% planeado x BAC	Q. 50 000
Valor ganado (EV)	% real x BAC	Q. 40 000
Costo real (AC)	Presupuesto gastado	Q. 60 000
Variación del costo (CV)	EV-AC	-Q. 20 000
Variación del cronograma (SV)	EV-PV	-Q. 10 000
Índice de desempeño del costo (CPI)	EV/AC	0,67
Índice de desempeño del cronograma (SPI)	EV/PV	0,80
Estimado a la conclusión (EAC)	BAC/CPI	Q. 149 300
Estimado hasta la conclusión (ETC)	EAC-AC	Q. 89 300
Variación a la conclusión (VAC)	BAC-EAC	-Q. 49 300
Índice de desempeño del trabajo por completar (TPCI)	$(BAC-EV)/(BAC-AC)$	1,5

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 5.

- Análisis
 - El valor planeado es el porcentaje de avance que debería tener el proyecto a la fecha, en este caso un 50 % por encontrarse sobre el sexto mes de doce planificados, multiplicado por el presupuesto a conclusión, BAC.
 - El valor ganado es el porcentaje de avance real a la fecha, en este caso un 40 %, multiplicado por el presupuesto a conclusión, BAC.
 - El costo real representa el monto del presupuesto gastado hasta el momento. En este caso, el enunciado del ejemplo indica que es de Q. 60 000.
 - La variación del costo (CV) con valor negativo de Q. 20 000 indica que, al momento del corte, el costo se ha excedido en ese valor, ya que el proyecto ha avanzado un 40 % pero se han gastado los recursos correspondientes a un avance del 60 %.
 - El valor negativo de la variación del cronograma (SV) indica un retraso en la programación en función del monto que se debió haber ejecutado a la fecha y lo que realmente se ha completado al momento del corte.
 - El índice de desempeño del costo (CPI) de 0,67 indica una ejecución deficiente del presupuesto (un valor de 1,0 indicaría una ejecución según presupuesto). Lo que esto significa es que, por cada Q. 1,00 gastados, estamos obteniendo un valor de Q. 0,67.

Continuación del apéndice 5.

- El índice de desempeño del cronograma (SPI) de 0,80 indica un retraso en el cronograma (un valor de 1,0 indicaría una ejecución conforme el cronograma). Lo que esto significa es que, por cada hora de trabajo realizado, estamos logrando el trabajo asignado a 0,80 horas.
- El estimado a la conclusión (EAC) es el valor total que tendrá el proyecto a su terminación si las desviaciones no se corrigen en el trabajo restante; en este caso, Q. 149 300. Es decir, se pagará más de lo planificado.
- El estimado hasta la conclusión es el presupuesto necesario para concluir lo restante del proyecto si las desviaciones no se corrigen en lo restante de la ejecución, en este caso, Q. 89 300.
- La variación a la conclusión (VAC) es la diferencia entre el costo final y el presupuesto original si no se realizan correcciones en lo restante del proyecto, en este caso, un excedente de Q. 49 300.
- El índice de desempeño del trabajo por completar (TPCI) indica el rendimiento en costos que se debe alcanzar para lograr cumplir con el presupuesto original (BAC); para este ejemplo, un rendimiento de 1,5.

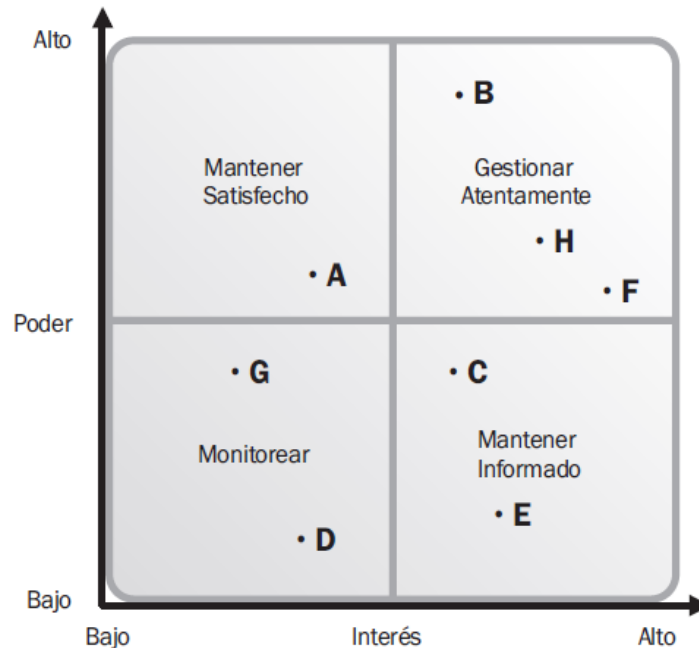
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Matriz poder interés**

La matriz de poder-interés es un modelo de clasificación utilizado para el análisis de los interesados que agrupa a los mismos basándose en su nivel de autoridad (poder) y su nivel de preocupación (interés) con respecto a los resultados del proyecto.

En la figura A3 se presenta un modelo de la matriz donde cada una de las letras mayúsculas (A, B...) representa a un interesado del proyecto. La ubicación de estos dentro de alguno de los cuadrantes determina el tipo de gestión sugerido para con dicho interesado.

Figura A3. **Matriz de poder / interés**



Fuente: Project Management Institute. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. p. 397.

Fuente: elaboración propia.

