



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

***"OPTIMIZACION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION, MEDIANTE
LA ASIGANACION Y NIVELACION DE RECURSOS. CASO
PRACTICO: RIO CACALUTA"***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN INGENIERIA
CON FORMACIÓN EN
CONSTRUCCION**

PRESENTA

ING. ALEIXE LOPEZ SOLIS

DIRECTOR DE TESIS

M.I JOSE FRANCISCO GRAJALES MARIN



TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS, JUNIO 2018



Universidad Autónoma de Chiapas

Facultad de Ingeniería C-I



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
22 de mayo de 2018.
Oficio No. F.I.01.437/18.

Ing. Aleixe López Solís
Alumno de la Maestría en Ingeniería con
Formación en Construcción
Universidad Autónoma de Chiapas
Presente:

Por este medio comunico a usted, que le autorizo la impresión de su trabajo de tesis denominado: *"Optimización de equipo de construcción, mediante la asignación y nivelación de recursos. Caso Práctico: Rio Cacaluta"* para que pueda continuar con los trámites de titulación para la obtención del grado.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
"POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR"


Dr. José Ernesto Castellanos Castellanos
DIRECTOR



DIRECCIÓN DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA


C.c.p. Dr. Juan José Cruz Solís. Coordinador de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería.
C.c.p. Archivomputario
JJC/S/mj



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, a 11 de mayo de 2018.

Dr. José Ernesto Castellanos Castellanos
Director de la Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Chiapas
Presente:

Por este medio me permito informar a usted, que he concluido con la dirección de la tesis titulada: ***“OPTIMIZACION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION, MEDIANTE LA ASIGNACION Y NIVELACION DE RECURSOS. Caso Práctico: Rio Cacaluta”***, que para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con Formación en Construcción, desarrollada por el Ing. Aleixé López Solís, por lo que doy mi voto aprobatorio para que pueda seguir con los trámites correspondientes.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

Atentamente



M.I. José Francisco Grajales Marín
Director de la Tesis

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,
11 de mayo de 2018.

Dr. José Ernesto Castellanos Castellanos
Director de la Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Chiapas
Presente:

En nuestra calidad de sinodales del Examen de Grado de Maestría en Ingeniería con Formación en Construcción del **Ing. Aleixe López Solís**, nos permitimos manifestarle la aceptación del trabajo de tesis titulada: **"OPTIMIZACION DE EQUIPO DE CONSTRUCCION, MEDIANTE LA ASIGNACION Y NIVELACION DE RECURSOS. Caso Práctico: Rio Cacaluta"**

Quedamos enterados de que formaremos parte del jurado del examen de grado, en la fecha y hora que se nos comunicará posteriormente.

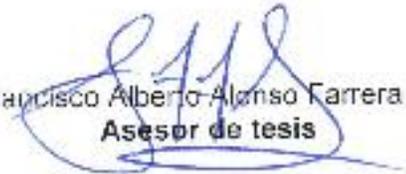
ATENTAMENTE



M.I. José Francisco Grajales Marín
Director de tesis



M.I. Iveth Adriana Samayoa Aquino
Asesor de tesis



Dr. Francisco Alberto Alonso Carrera
Asesor de tesis

NDICE

	PAG
INTRODUCCION	1
1. ANTECEDENTES	
1.1 La maquinaria de construcción	3
1.2 Historia de la administración de proyectos	4
2. ADMINISTRACION DE PROYECTOS	
2.1 Proyectos. Definición y características	9
2.2 Objetivos de la administración de proyectos	13
2.3 El ciclo de vida del proyecto	15
3. HERRAMIENTAS DE LA ADMINISTRACION DE PROYECTOS	
3.1 Planeación del proyecto	20
3.2 SOW (Statement Of Work). Descripción del trabajo	30
3.3 WBS (Work Breakdown Structure). Estructura de descomposición del trabajo	30
3.4 Programación del proyecto	37
3.5 CPM (Critical Path Method)	38
3.6 PDM (Precedence Diagramming Method) Método del diagrama de precedencias	42
4. NIVELACION DE RECURSOS	
4.1 Asignación de recursos	47
4.2 Programación con recursos limitados	51
4.3 Nivelación de recursos	52
4.4 Nivelación de recursos. Algoritmo de Burgess-Killebrew	53
4.5 Resultados de la nivelación de recursos	58
5. MAQUINARIA DE CONSTRUCCION	
5.1 Clasificación	60
5.2 Criterios de selección de la maquinaria	62
5.3 Producción horaria de las maquinas	66
5.4 Producción horaria de una excavadora	67

6. PROYECTO. CONSTRUCCION DE BORDO EN EL RIO CACALUTA, ACAPETAHUA	
6.1 Características y ubicación del municipio	68
6.2 Descripción del proyecto	71
6.3 Localización	72
6.4 Características de la excavadora 320	72
6.5 Información del proyecto	75
6.6 Análisis de resultados	81
7. CONCLUSIONES	82
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	83

INTRODUCCIÓN

La nivelación de recursos es uno de los problemas que hay que resolver una vez que se efectúa el estudio y control de un proyecto. Con la nivelación se trata de unificar las necesidades del o de los factores de producción necesarios en la ejecución de un proyecto durante el tiempo necesario para su realización, de tal forma que no existan períodos con muchas necesidades del recurso objeto de estudio, y otros períodos con escasas necesidades del mismo; así, si se consiguen unas necesidades uniformes a lo largo de la ejecución del proyecto, a la persona responsable del mismo se le plantearán menos problemas que en el caso en que tenga que enfrentarse a unas necesidades variables que puedan provocar excedente o déficit de dicho recurso.

Por ejemplo, cuando se analizan las necesidades de mano de obra en la ejecución de un proyecto, si dicho recurso no está nivelado, se puede estar en la situación de unas necesidades muy elevadas de trabajadores en unos períodos y por el contrario necesitar pocos trabajadores en otros, de tal forma que si se contrata mano de obra con arreglo a las necesidades mínimas, habrá de contratarse mano de obra eventual en los períodos de máxima necesidad y por el contrario, si se contrata la mano de obra máxima, se incurrirá en excedente en aquellas períodos de necesidades mínimas.

La nivelación de recursos en la ejecución de proyectos no supone incremento del costo de realización de la obra ya que el tiempo total no varía respecto del calculado en el programa, debido a que las actividades se desplazan dentro del intervalo que le permite su holgura.

La limitación de recursos en la realización de una obra puede provocar conflictos que pueden resolverse mediante métodos de nivelación. Estos algoritmos aplanan el diagrama de carga sin producir retrasos en el plazo programado. Con ayuda de las diversas técnicas de redes, se habrá establecido un camino crítico y unas holguras para cada una de las actividades.

Debido a las condiciones topográficas de la zona, los Ríos azolvados se desbordan y es necesario siempre mantener un monitoreo acerca de su comportamiento para evitar daños a los centros de población; es así como los

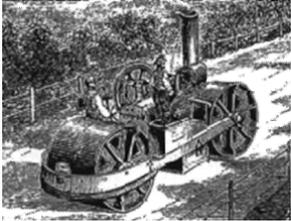
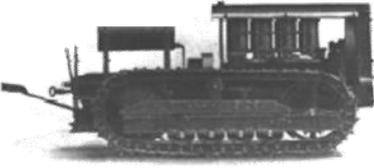
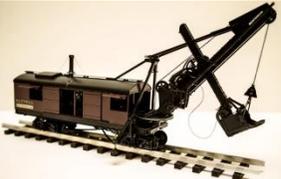
proyectos de desazolve están orientados a evitar inundaciones por desbordamiento de ríos, por lo que las obras consisten en la formación de bordos, limpieza y desazolve a lo largo del cauce.

9. ANTECEDENTES

1.1 La maquinaria de construcción

El desarrollo de innovación para ahorrar mano de obra se observó primero en la agricultura y luego en la construcción, la razón puede ser porque el hombre primero necesitó qué comer y luego en la construcción.

Tabla 1.1 Breve historia de la maquinaria de construcción

1854		Bulldozer	<i>La historia del Bulldozer empieza con el desarrollo del vehículo asentador de vías. Funcionaba a vapor y se utilizó por primera vez en Crimea.</i>
1867		Compactadora	<i>Fueron muy utilizadas en los Caminos de Macadam, eran movidas a vapor. El término se creó por John Loudon McAdam, el inventor de este proceso de construcción de carreteras.</i>
1886		Niveladora	<i>Aparece la primera niveladora, es de tracción animal; sin embargo es muy parecida a la niveladora que surge 100 años después.</i>
1909		Bulldozer Caterpillar	<i>El tractor de oruga es utilizado por primera vez en este año.</i>
1912		Excavadora Bucyrus	<i>En la construcción del Canal de Panamá se utilizaron 100 palas de vapor Bucyrus, cada una capaz de excavar aproximadamente 920 metros cúbicos en una jornada de ocho horas.</i>
1922		Bulldozer	<i>Los primeros bulldozers reconocibles aparecieron en 1922 y en los años siguientes sufrieron innovaciones intensivas en la montura y el control de la cuchara para lograr máxima productividad.</i>

Este desarrollo se logra primero en Estados Unidos y luego en Europa, tal vez porque en Europa había abundancia de mano de obra y las obras eran de menor escala.

Después del desarrollo rápido de los treinta años antes de la primera guerra mundial, se consolidó el diseño en los años 20 y 30. El tamaño y la potencia de los motores aumentó, los motores diesel se volvieron bastante universales, así como los sistemas hidráulicos. Al umbral de la segunda guerra mundial la maquinaria de construcción había llegado casi a su forma actual. En la tabla 1.1 se muestran algunas de las primeras máquinas utilizadas en la construcción.

1.2 Historia de la administración de proyectos

El ser humano desde el principio de su existencia ha realizado proyectos, pero a través de la experiencia, el conocimiento y por supuesto la evolución de la mente humana, cada vez se realizan de una mejor manera.

La administración de proyectos como se conoce hoy día, parece que comenzó a tomar fuerza a finales del siglo XIX, cuando el gobierno de USA empezó a aplicar conceptos para el primer gran proyecto, el ferrocarril transcontinental cuya construcción comenzó en los años 60 del siglo XIX, así los líderes empresariales tenían la tarea de organizar el trabajo manual de miles de trabajadores, además del procesamiento y montaje de las materias primas.

A principios del siglo XX, Frederick Taylor realizó estudios detallados de su trabajo; aplicando el razonamiento científico demostró que el trabajo puede analizarse y mejorarse si se centra en las partes fundamentales; en el epitafio de su tumba está escrito *El padre de la administración científica*. Al mismo tiempo, Henry Laurence Gantt, socio de Taylor, estudió detalladamente el orden de las operaciones en el trabajo; así es como los diagramas de Gantt que hoy se conocen contienen barras de actividades y marcadores de hitos, describiendo la secuencia y duración de las tareas de un proyecto; fueron utilizados en la construcción de embarcaciones durante la Primera Guerra Mundial.

Pero no es sino hasta la segunda mitad del siglo XX cuando se da el mayor crecimiento en la administración de proyectos, cuando se empieza en

profesionalizar la actividad debido a resultados de grandes proyectos, como por ejemplo el proyecto Manhattan cuya meta fue crear la primera bomba atómica; de triste memoria, puso en práctica el método *Técnica de evaluación de precedencias*, posteriormente en 1958, el Departamento de Defensa de los Estados Unidos dio lugar al PERT (Program Evaluation and Review Technique) para acelerar los tiempos de producción; después Du Pont diseñó la técnica de Ruta Crítica o CPM (Critical Path Method); así también surgen métodos como WBS (Work Breakdown Structure) muy útil en la planeación. Habría que mencionar que las técnicas de programación más bien se ubicaban en la investigación de operaciones.

Los administradores de proyectos ya no sólo se interesaban por determinar cuándo se iba a terminar el proyecto o identificar caminos críticos, sino que empezaron a utilizar conceptos como motivación, liderazgo, reconocimiento y pasión. Así en 1960, los laboratorios de IBM presentaron las siguientes afirmaciones:

- Es posible relacionar los nuevos proyectos con otros pasados y estimar sus costos.
- Se producen regularidades en todos los proyectos.
- Es absolutamente necesario descomponer los proyectos en partes de menor dimensión para realizar planeación.

En 1969 se fundó el PMI, dedicado a la divulgación y profesionalización de la administración de proyectos, hoy en día reconocido a nivel mundial en este ámbito.

En la tabla 1.2 se presenta cómo ha evolucionado la administración de proyectos.

Tabla 1.2 Historia de la administración de proyectos

Año	Nombre	Aportación	Comentario
2570 a. C.	Cultura Egipcia	Administración de proyectos	<i>Registros antiguos muestran que hubo gerentes para cada una de las cuatro caras de la Gran Pirámide, responsables de supervisar su terminación.</i>
208 a. C.	Cultura China	Administración de proyectos	<i>el levantamiento de la Gran Muralla ha sido un proyecto muy grande. De acuerdo a datos históricos, la fuerza de trabajo fue organizada en tres grupos: soldados, gente común y criminales. El Emperador Qin Shihuang mandó a millones de personas para finalizar este proyecto.</i>
1910	Henry Laurence Gantt	Gráfica de Gantt	<i>Creó una gráfica, utilizada hasta la fecha para representar un proyecto, mediante una barra que representa a cada actividad y tiempo</i>
1956	AACE (American Association of Cost Engineers)	Planeación	<i>Los primeros profesionales de la administración de proyectos y de las especialidades asociadas con los costos formaron la AACE.</i>
1957	Booz Allen Hamilton	Técnica de redes	<i>Empresa de consultoría, antes llamada Booz, Allen & Hamilton, que participó en la Marina de Estados Unidos para crear el PERT (Program Evaluation Research Task) o (Program Evaluation Review Technique).</i>
1957	Dupont Corporation	CPM (Critical Path Method)	<i>Dupont Corporation creó el CPM, que es una técnica utilizada para predecir la duración de un proyecto al analizar cuáles secuencias de actividades tienen la menor cantidad de flexibilidad dentro del calendario.</i>
1960	Bernard Roy	Método de Roy	<i>El matemático francés Bernard Roy presentó un método de programación y control de proyectos. Este método se originó en Europa. El método de Roy es conocido también como el método de los potenciales.</i>
1961	John Walker Fondahl	PDM (Precedence Diagramming Method)	<i>Técnica en la cual las actividades estaban en los nodos. Esta técnica fue desarrollada posteriormente por IBM, dando lugar a un programa que se llamó "Precedence Diagramming Method", más conocido como Red de Precedencias, de uso muy generalizado en la actualidad.</i>
1962	Departamento de Defensa de Estados Unidos	WBS (Work Breakdown Structure)	<i>Fue creada como parte del proyecto Polaris, misil balístico móvil lanzado desde submarino. Después de realizar el proyecto, el Departamento de Defensa publicó la Estructura de Desglose de Trabajo, ordenando que este procedimiento sea seguido en futuros proyectos de este alcance y tamaño.</i>
1962	A. R. Burgess y J. B. Killebrew y F. K. Levy, G. L. Thompson y J. D. Wiest	Nivelación de recursos	<i>Comienzan trabajos de desarrollo de algoritmos heurísticos para la nivelación de recursos.</i>
1965	IPMA (International Project Management Association)	Gestión de proyectos	<i>Fue la primera asociación de administración de proyectos en el mundo. Comenzó en Viena, Austria, por un grupo a manera de un foro de project managers para generar redes de trabajo y compartir información. Registrada en Zúrich, Suiza y en Nijkerk, Holanda.</i>
1969	PMI (Project Management Institute)	Administración de proyectos	<i>Cinco voluntarios fundaron el PMI® como una organización profesional sin fines de lucro dedicada a contribuir con el avance de la práctica, ciencia y profesión de administración de proyectos.</i>

1975	PROMPTII Simpact Systems Limited	Proyectos informáticos	<i>Fue desarrollado en respuesta a una protesta de que los proyectos informáticos estaban prolongando el tiempo estimado para su finalización y excediendo los presupuestos originales dispuestos en los estudios de factibilidad.</i>
1983	Harvard Project Manager	Software	<i>Aparece en el mercado el primer software para la gestión de proyectos en entornos de computadoras personales.</i>
1987	PMI®	PMBOK	<i>Se publica por primera vez la Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos. Surge inicialmente como un reporte o intento por documentar y homologar las prácticas e información de administración de proyectos aceptadas.</i>
1989	Departamento de Defensa de Estados Unidos	Valor adquirido	<i>La gestión del valor adquirido fue utilizada para las Adquisiciones y en consecuencia se incluye a la técnica de Earned Value Management como parte esencial de la administración de programa y procuración.</i>
2006	AACE (American Association of Cost Engineers)	Marco de Gestión de Costo Total (Total Cost Management Framework)	<i>Fue el nombre dado a un proceso donde se aplican habilidades y conocimientos de la ingeniería de costos. Éste también fue el primer proceso o método integrado de administración de portafolio, programas y proyectos.</i>

¿Qué es lo que sigue?

Es indudable que el PMI seguirá siendo muy importante en la generación del conocimiento de la administración de proyectos, ya que en forma constante organiza foros, congresos y reuniones encaminadas a mejorar los procesos y técnicas de la disciplina. Con la globalización siempre vienen desafíos más grandes y la necesidad de aumentar la velocidad de salida al mercado de nuevos productos y servicios. Los proyectos se convierten en realizaciones más grandes, complejas y cada vez más difíciles de manejar. La crisis económica mundial empuja a los trabajos hacia países de bajo costo, los cuales presentan varios problemas. El mundo está cambiando y la administración de proyectos necesita cambiar con éste.

En la figura 1.1 se muestra cómo ha crecido exponencialmente el PMI por lo que se ha convertido en una autoridad en el campo de la administración de proyectos.

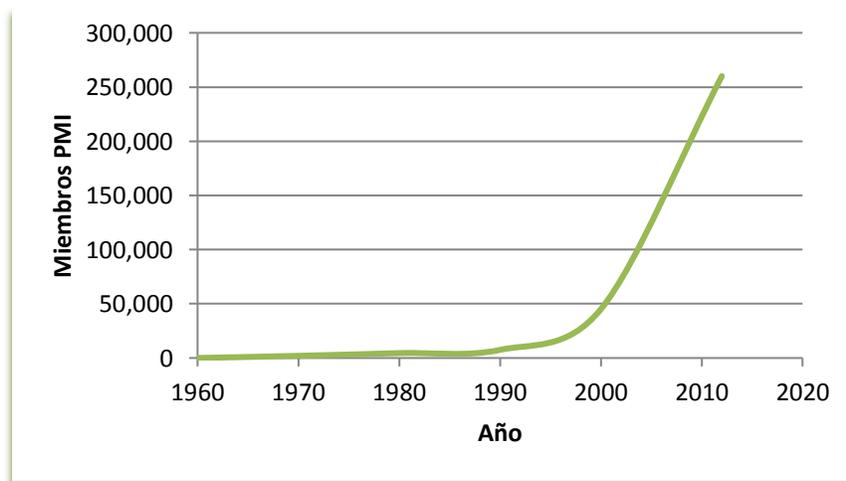


Figura 1.1 El crecimiento del PMI

10. ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

Los proyectos de construcción son indispensables para el desarrollo moderno, equilibrado y sustentable de cualquier país; estos proyectos generan infraestructura física que cada vez es más compleja y costosa.

Es generalmente aceptado que las etapas del ciclo de vida de un proyecto son: Planeación, Diseño, Ejecución, Operación y su final. Todas las etapas deben administrarse adecuadamente, lo que significa que constantemente se debe generar información valiosa, y en consecuencia tomar decisiones y dar soluciones efectivas a los problemas que se presenten a lo largo de este ciclo de vida.

Aunque a veces se enfatiza la ejecución, sería un grave error analizarla sin considerar las etapas previas que la sustentan y las etapas posteriores que son altamente impactadas por las tres primeras etapas. Precisamente la falta de una visión integral de los proyectos suele ser un problema importante en su administración.

La ejecución de los proyectos de construcción, aún los pequeños y medianos, involucra gran número de operaciones, para transformar muchos y variados recursos mediante el trabajo conjunto de varias organizaciones; de aquí que los proyectos de construcción sean complejos de administrar. Esto se agrava debido a que poseen características que los hacen muy especiales; tales como su naturaleza única y alto grado de incertidumbre; su variación (constituidos por una gran cantidad de elementos); su extrema fragmentación (gran cantidad de personas y organizaciones que intervienen); una adjudicación altamente competitiva; y los retos siempre crecientes a que se enfrenta la industria de la construcción como el aumento constante de normas y restricciones, la aparición de nuevos avances en materiales, equipo y maquinaria, presupuestos con muy poco margen de utilidad, exigencias por reducir las duraciones, costos inestables en el tiempo, escasez de mano de obra calificada, etc. Son estas características sin duda las que hacen difícil tener una visión integral y una gestión sistémica de los proyectos de construcción.

La administración inicia con la planeación, la cual es diferente de la etapa de planeación referida anteriormente en el ciclo de vida del proyecto. En esta subetapa se debe determinar qué operaciones se requieren, cómo se deben ejecutar y qué acciones deben tomarse; posteriormente, con esta información se define quién es el responsable de la ejecución de cada una de ellas. Con esto es posible prever potenciales dificultades y anticipar los riesgos que estarán presentes durante la ejecución.

Todos los recursos que una empresa invierta en planear el proyecto se justifican ampliamente debido a que conducen a un análisis profundo del proyecto, lo que pondrá las bases para poder realizar un control efectivo del mismo. El plan, seguido de un eficaz control, permite detectar en forma temprana desviaciones en la ejecución, analizar los hechos y planear las medidas alternativas que permitan encausar las metas en la ejecución del proyecto.

Hoy en día, muchos administradores de proyectos aún son reacios a invertir esos recursos, por lo que muchas construcciones se realizan con una deficiente planeación, que en la mayoría de los casos llevan a resultados insatisfactorios, tanto para la empresa constructora como para el inversionista. Se ha reportado que en Estados Unidos el 47% de los proyectos exceden el costo esperado y el 71% sobrepasa el tiempo programado; en América Latina los resultados han de ser peores.

2.1 Proyectos. Definición y características

En el campo de la administración de proyectos, el PMI¹ define a un proyecto como:

Emprender un esfuerzo temporal para crear un producto o servicio único.

Hay una gran variedad de proyectos en la sociedad, aunque algunos argumentan que la construcción de la torre de Babel o las pirámides de Egipto fueron algunos de los primeros *proyectos* en la historia, es probable que lo fueran también las cavernas hechas para guardar la carne de mamut. Es cierto que la construcción de la Presa Boulder y el invento de la Lámpara de Edison fueron proyectos que cabrían en cualquier definición de proyecto. En la actualidad, la administración de

¹ Project Management Institute.

proyectos se dice que comenzó con el Proyecto Manhattan². En esos días, la AP se empleó principalmente para proyectos de investigación y desarrollo de gran complejidad como el *Atlas intercontinental Ballistic Missile* y sistemas de armamento similares. La construcción masiva también fue organizada como proyectos; construcción de presas, barcos refineras y carreteras, entre otros.

Uno de los autores que más han influido en la profesionalización de la administración de proyectos es Harold Kerzner³, el cual define a la administración de proyectos como:

Es la planeación, organización, dirección y control de los recursos de una empresa con objetivos de corto plazo, que tienen que ser establecidos para alcanzar metas y objetivos específicos.

Al desarrollarse las técnicas de la administración de proyectos, sobre todo en proyectos militares y de construcción, se comenzó a difundir la organización de proyectos. Las empresas de construcción hallaron que la organización era útil en proyectos pequeños, como bodegas o un edificio de apartamentos. Las compañías de automóviles usaron la organización de proyectos para desarrollar modelos nuevos. La General Electric y Pratt & Whitney la emplearon para el desarrollo de motores jet para aviones privados y de la fuerza aérea. Ha sido utilizada para crear nuevos modelos de calzado y barcos. Más recientemente, el uso de la administración de proyectos por organizaciones internacionales, y especialmente que producen servicios, más que productos, ha crecido rápidamente. Compañías de publicidad, fusiones globales y de adquisición de capital, son manejadas como proyectos, y los métodos tienen difusión en otros sectores. Bodas, organismos electorales, fiestas, recitales; hacen uso de la administración de proyectos. Más recientemente, se ha extendido hacia las compañías de software.

En discusiones de la administración de proyectos, es usual que se haga una distinción entre términos como *proyecto*, *programa*, *tarea* y *paquetes de trabajo*.

² Proyecto de desarrollo de la bomba atómica en 1940.

³ Kerzner, Harold (1940-) Ingeniero americano, consultor en administración de proyectos, profesor emérito de administración de sistemas en la Universidad Baldwin Wallace y director ejecutivo de administración de proyectos en el Instituto Internacional para el Aprendizaje, conocido por sus trabajos en la administración de proyectos, la planeación estratégica y administración de la calidad total.

Los militares han sido también fuente de estos términos, generalmente utilizan *programa* para referirse a objetivos de largo plazo que se descomponen en un conjunto de proyectos. Estos proyectos son descompuestos aún más en *tareas*, que a su vez están formadas de *paquetes de trabajo* y finalmente en *unidades de trabajo*. Pero abundan las excepciones a esta nomenclatura. El proyecto Manhattan fue un *programa* transdisciplinario, pero se creó una *fuerza de tarea* para investigar el potencial futuro de compañías de acero.

En un sentido amplio, un proyecto es una tarea finita y específica que debe ser lograda. No es relevante si es de largo o corto plazo, de pequeña escala o mediana. Es relevante que se vea como una unidad. Sin embargo, hay algunos atributos que caracterizan a los proyectos:

Propósito

Un proyecto es usualmente una actividad que se realiza una vez con un conjunto bien definido de deseos y resultados. Puede estar dividido en subtareas que deben realizarse para alcanzar los objetivos del proyecto. El proyecto es suficientemente complejo que requiere cuidadosa coordinación y control en términos de tiempo, precedencias, costo y ejecución. Con frecuencia, se ejecutan al mismo tiempo que otros proyectos que realiza la misma organización.

Ciclo de vida

Como una entidad orgánica, el proyecto tiene un ciclo de vida. De un inicio lento crece, llega a un pico, comienza a declinar y finalmente debe ser terminado (como los organismos, se resisten a la terminación).

Interdependencias

Con frecuencia los proyectos interactúan con otros proyectos, pero siempre con organizaciones estándar. Aunque los departamentos funcionales de una organización (mercado, finanzas, manufactura) interactúan con otros de una forma regular, los modelos de interacción entre proyectos tienden a ser cambiables. La manufactura puede tener mayor importancia en ese espacio. Las finanzas tienen relación con el inicio y la contabilidad (el controlador) al final, así como en los reportes periódicos. El administrador de proyectos debe tener muy claro estas interacciones y mantener las interrelaciones apropiadas con los grupos externos.

Unicidad

Los proyectos tienen algunos elementos que los hacen únicos. Dos proyectos, aparentemente iguales, de investigación y desarrollo, no son precisamente iguales. Aunque es claro que los proyectos de construcción son usualmente más rutinarios que un proyecto de I & D, es característico de estos proyectos algún nivel de acabados. En adición a la presencia de riesgo, mencionado antes, estas características significan que el proyecto, por su naturaleza, no puede ser reducido a una rutina. Es importante que lo enfatice el administrador de proyectos, ya que utiliza la *administración por excepción*⁴ y puede encontrar muchas excepciones para administrarlo.

Conflicto

Más que muchos administradores, el administrador de proyectos vive en un mundo caracterizado por el conflicto. Los proyectos compiten en los departamentos funcionales por los recursos y por personal. Algo serio, es que, en organizaciones con multiproyectos, existe el proyecto y los recursos de los conflictos del proyecto. Los miembros del equipo están casi siempre en conflicto por los recursos y por el rol de líder en la solución de problemas.

Las cuatro partes interesadas o *Stakeholders*⁵ (el cliente, la organización, el equipo del proyecto y la sociedad) en cualquier proyecto, aún definen el éxito y el fracaso de diferentes maneras. El cliente quiere cambios, y la organización quiere beneficios, el cual puede reducirse por los cambios. Los individuos trabajan en proyectos donde tiene dos jefes al mismo tiempo; los jefes tienen diferentes prioridades y objetivos. La administración de proyectos no es un lugar para tímidos.

Si las características mencionadas arriba definen un proyecto, es apropiado preguntar si hay no-proyectos. Sí los hay. El uso de una línea de manufactura para producir un flujo de productos estándar no es un proyecto. La producción de reportes semanales, la preparación de desayunos, la entrega del correo, el vuelo del Delta 1288 de Dallas a Dulles, la revisión del correo electrónico, no son

⁴ Administración basada en la verificación de excepciones o desvío de los patrones normales. Todo lo que ocurre dentro de los patrones normales, no debe ocupar demasiada atención del administrador.

⁵ Alguien que puede afectar o es afectado por las actividades de una empresa; o también: parte interesada.

proyectos. Se puede argumentar que cada una de estas actividades son, en algún grado, únicas, no tienen unicidad; son rutinas. Son tareas que se realizan una y otra vez. No es de los proyectos. Cada proyecto es un evento de una sola vez. Aún la construcción de una sección de la autopista interestatal es un proyecto. No hay dos millas iguales y la construcción demanda una constante adaptación a diferencias en el terreno y a la subestructura sobre las que descansa la vía. Los proyectos no pueden ser administrados adecuadamente con la administración de rutinas usadas en el trabajo.

2.2 Objetivos de la administración de proyectos

El propósito básico al iniciar un proyecto es lograr metas específicas. La razón de organizar las tareas como un proyecto es centrar la responsabilidad y la autoridad para alcanzar las metas individuales o de grupo. A pesar de que a veces el administrador de proyectos carece de autoridad en un nivel consistente con su responsabilidad, se espera que coordine e integre todas las actividades para alcanzar las metas del proyecto.

En particular, la forma de la organización permite que el administrador de proyectos sea sensible a:

- 1) El cliente y el entorno
- 2) Identificar y corregir problemas desde el principio
- 3) La toma de decisiones oportuna, acerca de los intercambios tiempo-costo entre objetivos en conflicto
- 4) Asegurar que los integrantes del equipo en cada sección del proyecto no optimicen la realización de sus tareas individualmente, a costa del proyecto total; esto es, que no haya optimización parcial.

Las experiencias actuales con administradores de proyectos indican que la mayoría de las organizaciones emplean mejor sus experiencias en el control y relaciones con el cliente; y que probablemente aumentan el retorno de la inversión. Una cantidad considerable de usuarios también reportan tiempos cortos de realización, bajos costos, alta calidad y confiabilidad, y un alto margen de

beneficios. Otros reportan ventajas en una orientación hacia adelante, una mejor coordinación interdepartamental y un alta moral de trabajo.

Del lado negativo, reportan que la administración de proyectos resulta en una alta complejidad organizacional. También se reporta que en las organizaciones aumenta la probabilidad de que sus políticas sean violentadas; no es tan sorprendente, considerando el grado de autonomía requerido por los administradores de proyectos. Muy pocas reportan altos costos, dificultades de administración y baja utilización de personal.

Las desventajas de la administración de proyectos provienen exactamente de las mismas fuentes de las ventajas. Las desventajas parecen tener el mismo precio que las ventajas. Al final, la balanza se inclina a favor de la organización de proyectos si el proyecto será realizado apropiadamente.

Las similitudes entre todos los tipos de proyectos ya sean cortos o largos, orientados a los servicios, ya sea abarcando programas o ser el único, es más penetrante que sus diferencias.

Hay limitaciones en la administración de proyectos. Por ejemplo, en la planeación de un proyecto, se puede admitir que la organización y sus administradores no logran los resultados deseados. Aún más, los conflictos parecen ser un efecto secundario. Como se ha notado, el administrador de proyectos carece de autoridad consistente con la responsabilidad que se le ha asignado. Entonces, el administrador de proyectos debe depender de la buena voluntad de los administradores de la organización para satisfacer la demanda de algunos recursos. Claro, si no hay buena voluntad, debe buscar ayuda. Pero el hecho de buscar la ayuda refleja la pobreza de la habilidad de éste y mientras encuentra cooperación a la mano, sufrirá en el corto plazo y también puede ser afectado en el largo plazo.

Volviendo a la materia de las ventajas, desventajas y limitaciones de los proyectos, por el momento es suficiente puntualizar que la administración de proyectos es difícil, aun cuando todo va bien. Cuando las cosas van mal, es peor. El problema es que la organización es la única manera factible de lograr ciertas metas. Literalmente, no es posible la planeación de un proyecto de construcción,

por ejemplo, de una manera oportuna y económica, excepto con la organización del proyecto. La fuerza en el énfasis para el logro de resultados en una organización es probable que adopte alguna forma de administración de proyectos. La apuesta o el riesgo en el empleo de la administración de proyectos podrían ser altas, pero no más que cualquier forma de administración. Y para los proyectos, menos. Puede ser duro, pero es todo lo que se tiene y funciona.

A pesar de todo, la vida del administrador de proyectos es excitante, compensatoria, a veces frustrante y tiende a ser el centro en las organizaciones. Es reconocido como *corredor de ruta* en un creciente número de empresas, particularmente aquellas que conducen proyectos cuya vida se extiende más de un año o dos. En estas organizaciones, los administradores de proyectos pueden funcionar por varios años y es importante la promoción para ellos. Es también común que ponen a sus promesas jóvenes en un *tour obligado*, durante el cual ellos administran uno o más proyectos (o partes de proyectos). Esto sirve como una prueba de sus aspiraciones para coordinar y administrar tareas complejas y obtener resultados en un ambiente políticamente desafiante donde se requiere capacidad de negociación.

2.3 El ciclo de vida del proyecto

Muchos proyectos atraviesan por etapas similares en la trayectoria desde su inicio a su terminación. El proyecto nace (fase de arranque) y se selecciona un administrador, el equipo y los recursos iniciales son reunidos y se organiza el trabajo. Luego se construye rápidamente, avanza y continúa hasta terminar. Pero al final parece que toma un tiempo inmoderado, porque hay con frecuencia muchas partes que deben ir juntas y porque los miembros del equipo *arrastran los pies* por varias razones y evitan los pasos finales.

El modelo de avance lento-rápido-lento hacia los objetivos del proyecto es muy común. Cualquiera que haya visto la construcción de una casa, ha observado este fenómeno. Muchas veces es el resultado de cambiar los niveles de los recursos durante las etapas del ciclo de vida. La figura 2.1 muestra el esfuerzo, usualmente en términos de horas-hombre gastados por unidad de tiempo (o el número de

personas trabajando en el proyecto) graficados contra el tiempo, en que la escala es descompuesta en varias fases del proyecto. Se requiere un esfuerzo mínimo al inicio cuando es desarrollado el concepto y está sujeto al proceso de selección. (Más tarde, hay un incremento del esfuerzo en las etapas tempranas del ciclo de vida que mejora las posibilidades del éxito del proyecto).

Superado este obstáculo, hay un incremento de la actividad, termina la planeación y el trabajo real comienza. Se alcanza un máximo y luego comienza a estrecharse cerca de la terminación, finalmente cesa cuando termina la evaluación y el proyecto es terminado. Este levante y caída siempre ocurre, no hay un modelo particular que tipifique a todos los proyectos, ni cualquier razón de la caída lenta al final.

En la figura 2.1 se muestra el ciclo de vida de un proyecto en forma general, con sus principales fases y en la figura 2.2 de forma más específica, un proyecto de construcción.

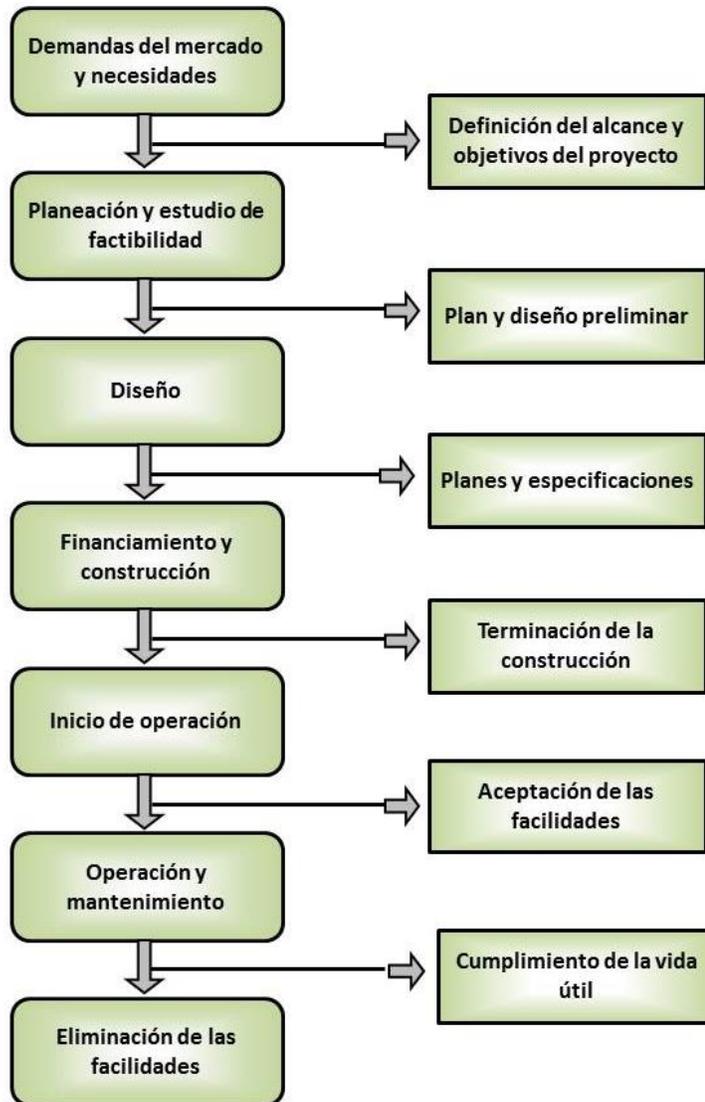


Figura 2.1 Ciclo de vida de un proyecto

En algunos casos, el *esfuerzo* nunca cae hasta *cero* porque el equipo del proyecto, o al menos un grupo, puede ser mantenido para el proyecto siguiente. Las metas siempre presentes del proyecto: la ejecución, el costo y el tiempo; son las consideraciones principales en el ciclo de vida del proyecto. Se pensaba que la ejecución tenía la preferencia en el ciclo de vida. Ahora los planeadores se centran en encontrar los métodos específicos requeridos para alcanzar los objetivos de la

ejecución. Se hace referencia a estos métodos como *tecnología* porque requieren de la aplicación de la ciencia o del arte.

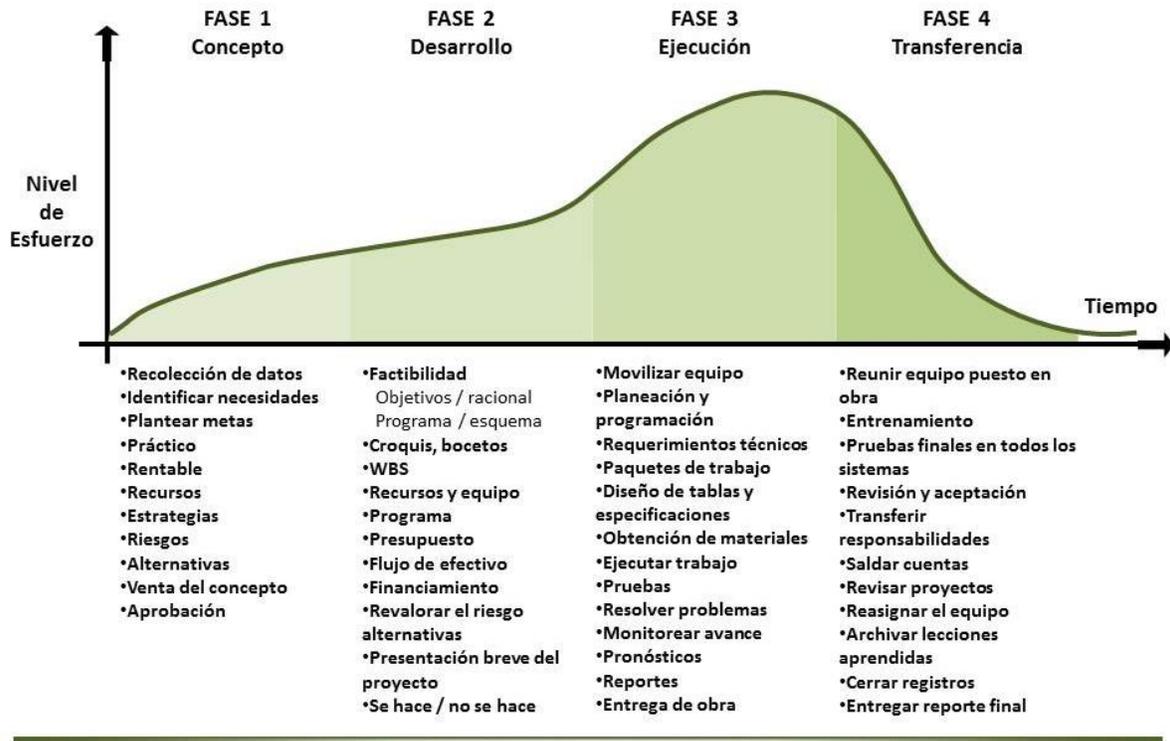


Figura 2.2 Ciclo de vida de un proyecto de construcción

Cuando se resuelven los principales problemas del *cómo*, los proyectos se vuelven preocupantes con mejoras en la realización, con frecuencia más allá de los niveles requeridos por las especificaciones originales. Esta búsqueda de una mejor ejecución retrasa al programa y eleva los costos.

Al mismo tiempo que se define la tecnología, se diseña el programa y se estiman los costos. Como si fuera la idea que la realización sobre el programa y el costo fuera de importancia durante el período de gran actividad, y luego el programa será importante en las etapas finales, cuando el cliente ya demanda la entrega del proyecto. Esta sabiduría convencional se vuelve falsa. Investigación reciente

indica que la realización y el programa son más importantes que el costo durante todas las etapas.

La figura 2.2 muestra el punto de vista convencional del ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, hay proyectos que tienen un ciclo de vida diferente, contrario a la sabiduría convencional. En efecto, el ciclo muestra que un economista puede llamarlo *retorno a la entrada*; esto es, la cantidad de proyecto terminada resulta del tiempo o de los recursos.

11. HERRAMIENTAS DE LA ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

3.1 Planeación del proyecto

Cien días antes de iniciar los Juegos Olímpicos de Atenas, Grecia, en el verano de 2004, muchas actividades del proyecto parecían ejecutarse dentro del programa muy reducido. Su inicio fue tardío: aun cuando la ciudad de Atenas obtuvo la designación de anfitrión en 1997, el trabajo del proyecto no comenzó sino hasta el año 2000, después de que el Comité Olímpico Internacional emitió una advertencia. Desde que el trabajo inició, más retrasos en la construcción y necesidades de mayor seguridad provocaron un incremento de 1190 millones de dólares en el costo del proyecto. Cuando faltaban menos de 100 días, la mayoría de los proyectos de construcción estaban en proceso y no se terminaría hasta unos cuantos días antes del inicio de los juegos.

Este equipo de proyecto de los Juegos Olímpicos estaba trabajando con una restricción de tiempo muy estrecha, con poca holgura o sin ella, para concluir numerosas tareas independientes. El ejemplo ilustra la importancia de utilizar técnicas de planeación de red para definir con claridad las relaciones de prioridad entre las actividades del proyecto. El gerente de proyecto puede compartir esta información, es decir la dependencia de una tarea de otra para ayudar a controlar el proyecto. Esta información puede servir a los miembros del equipo para comprender las metas a corto plazo necesarias para alcanzar metas finales mayores y mejorar las posibilidades de terminar el proyecto a tiempo.

Alguien que ha convertido a la planeación en un proceso que debe tener retroalimentación, o sea que puede cambiar en el tiempo, por las condiciones que rodean a un proyecto en particular, es Russell L. Ackoff⁶; establece que se pueden tener diferentes actitudes ante la planeación, como se observa en la tabla 3.1:

⁶ Russell L. Ackoff (1919 –2009) fue un pionero y promotor del enfoque de sistemas, de las ciencias administrativas y, según sus propias palabras, un solucionador de problemas.

Tabla 3.1 Actitudes ante la planeación, según Ackoff

Actitud	Características	Comentario
<i>Inactivismo</i>	Se encuentran satisfechos en como están y van las cosas. Son conservadores; buscan la estabilidad y la supervivencia. Demandan que todas las decisiones se tomen <i>arriba</i> . Utilizan palabras en lugar de acción y producen documentos de política, informes, etc. Para todo asunto forman comités, consejos, juntas, comisiones, etc.; con responsabilidades ambiguas. Objetan los cambios aduciendo carencia de personal y de recursos. Sólo reaccionan ante amenazas y no ante oportunidades.	<i>No creen en la planeación</i>
<i>Reactivismo</i>	Prefieren un estado anterior al que se encuentran, pues creen que las cosas van de mal en peor. Se orientan por remedios y no por aspiraciones. Su reacción a los cambios es <i>ya se intentó y no sirve</i> . Confían todo al sentido común, la intuición y la experiencia. Dan gran valor a la inmovilidad y la madurez. Buscan soluciones <i>probadas y confiables</i>	<i>No creen en la planeación</i>
<i>Preactivismo</i>	No se conforman con cómo están o estuvieron las cosas; creen que el futuro será mejor y que el grado de mejoría depende de lo bien que se preparen para él. Tratan de predecir y preparar. Desean crecer y mejorar. Están preocupados tanto por amenazas como por oportunidades. Se basan en la lógica y la ciencia más que en el sentido común y la experiencia. Buscan cambios dentro del sistema, no cambios del sistema. Son reformistas, no revolucionarios.	<i>Hacen planes para el futuro; no planifican su futuro propio</i>
<i>Interactivismo</i>	No se conforman con el estado actual ni con la forma en que las cosas se desarrollan, como tampoco en cómo estuvieron. Diseñan el futuro que se desea e inventan formas de acercarse a él. Están dispuestos a modificar la estructura, funcionamiento, organización y personal de un sistema. Se apoyan en la lógica y la ciencia, tanto como en la experiencia y la intuición. Son radicales.	<i>Diseñan el futuro que se desea y planean cómo acercarse a él</i>

La planeación es fundamental para que el proyecto se desarrolle dentro de los cauces previstos. Posteriormente, mediante el control se comprueba que el proyecto se ajusta a lo planeado inicialmente y, si existen desviaciones, se toman las medidas oportunas para intentar encauzarlo de nuevo.

La esencia de la planeación de un proyecto en los contratos de obra pública se plasma en la oferta presentada por la empresa constructora en el correspondiente proceso de licitación del contrato. Una vez adjudicado el contrato, el responsable

del proyecto toma como punto de partida lo ofertado y desarrolla y profundiza su labor de planeación. En el caso de que el equipo que ha preparado la oferta no sea el mismo que va a llevar a cabo el proyecto, es conveniente que se efectúe una reunión formal de transferencia del expediente.

La planeación puede tomar diferentes enfoques que se implementan en distintos documentos, tal y como se refleja en la siguiente tabla 3.2:

Tabla 3.2 Enfoques de la planeación

Enfoque	Documentos
Temporal	Programas
Económico	Presupuestos
Metodológico	Procedimientos
De comportamiento	Reglamentos

El proyecto debe ajustarse a los criterios de plazo, costo y de calidad definidos *a priori*, utilizando los recursos disponibles. La planeación del proyecto viene determinada por:

- Definición de tareas, cuya suma total es el proyecto
- Creación del equipo de trabajo y de colaboradores externos
- Previsión de medios auxiliares: aparatos topográficos, medios especiales, etc.
- Plazo de redacción, incluidos los plazos parciales
- Estimación del costo total en función de los recursos disponibles

La planeación de los recursos necesarios para el proyecto se inicia con un estudio de los elementos disponibles, en primer lugar, dentro de la propia organización y, en segundo lugar, fuera de ella. Para esto hay que analizar el grado de disponibilidad del recurso, su costo unitario y su eficiencia. La aplicación de los recursos puede hacerse con dedicación parcial o total durante un período determinado.

La planeación es el arreglo sistemático de tareas para lograr un objetivo determinado. El plan expone qué necesidades se atenderán y cómo se hará esto;

se vuelve un punto de referencia contra el cual puede compararse el avance real. Por tanto, si ocurren desviaciones, se deben emprender acciones correctivas.

Es importante que las personas que estarán involucradas en la realización del trabajo también participen en la planeación de este. Por lo general son las más informadas respecto a las actividades detalladas que se deben hacer y cuánto durará cada una. Al tomar parte en la planeación del trabajo, las personas se comprometerán en la realización de éste, según el plan y dentro del programa y presupuesto. La participación genera compromiso. En proyectos grandes que requieren varios años e involucran a cientos o incluso miles de personas, no es posible que todos participen en la planeación inicial. Sin embargo, a medida que avanza el proyecto, tal vez sea posible involucrar a muchas de estas personas en el desarrollo de planes más detallados.

La clave para el éxito del proyecto recae en el administrador del proyecto. Es deseable que el AP esté involucrado desde la concepción del proyecto hasta la ejecución. La planeación debe ser *sistemática*, *flexible* lo suficiente para manejar actividades únicas, *disciplinada* acerca de la revisión y el control y capaz de aceptar entradas *multifuncionales*. Los AP exitosos realizan la planeación como un proceso iterativo y debe ser realizado durante la vida del proyecto.

Uno de los objetivos de la planeación es la definición de todo el trabajo requerido de manera que se identifique a cada uno de los participantes del proyecto. Esto es necesario en el ambiente del proyecto porque:

- Si una tarea está bien definida su prioridad para ser realizada, mucho de este trabajo puede ser preestablecido.
- Si la tarea no está entendida, entonces durante la ejecución de la tarea se adquiere el conocimiento.
- Cuanta más incertidumbre existe acerca de una tarea, es mayor la cantidad de información que debe ser procesada para asegurar una ejecución efectiva.

Estas consideraciones son importantes porque cada proyecto puede ser diferente de otros, requiriendo de una variedad de recursos diferentes, pero que tienen que

ser realizados bajo restricciones de tiempo, costo y ejecución, con pequeños márgenes de error. La figura 3.1 identifica los tipos de planeación requerida para establecer un monitoreo y control efectivo del sistema. Los cajones en la parte superior de la curva representan las actividades de planeación y los de la parte inferior identifica al *seguimiento* o monitoreo de las actividades.

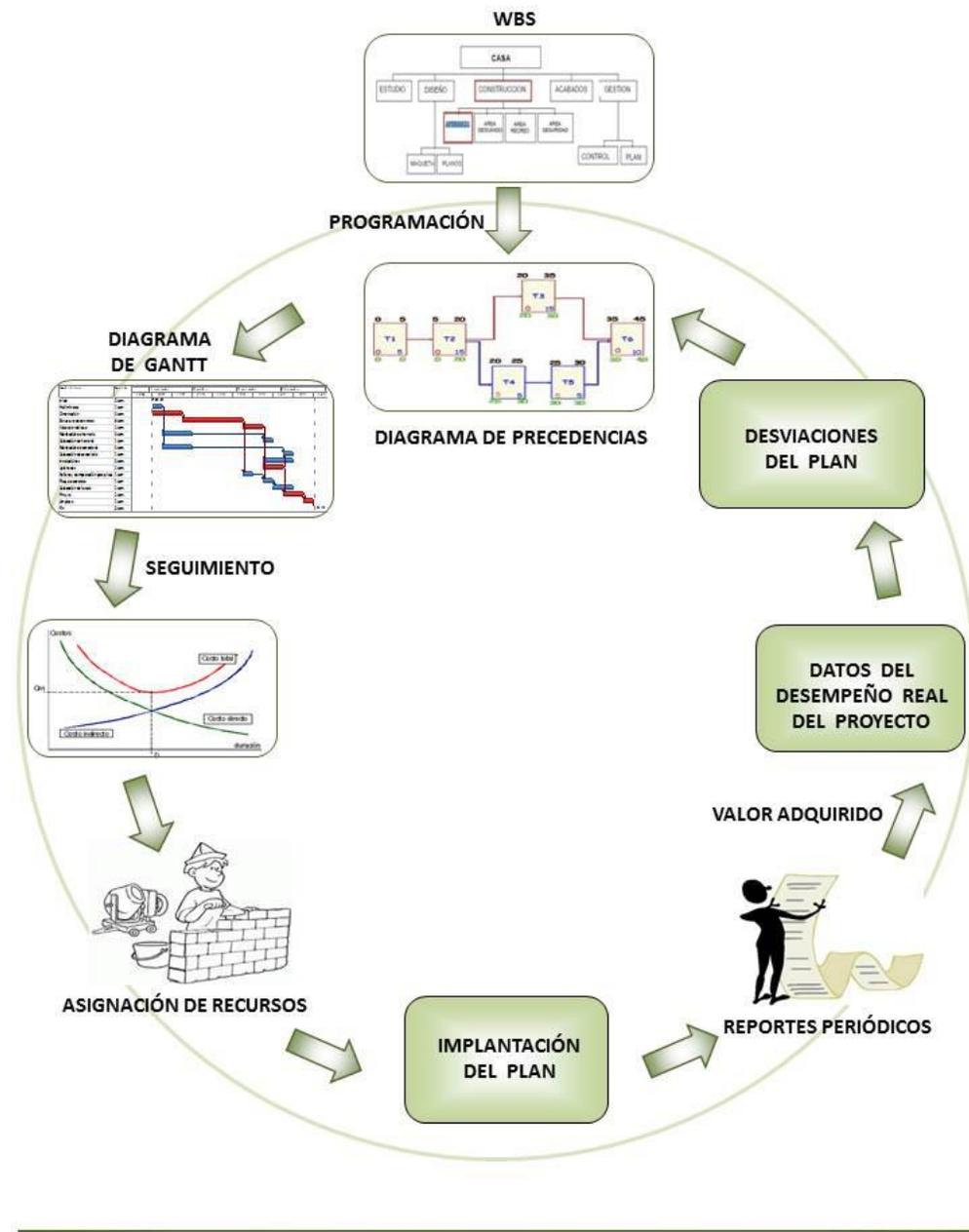


Figura 3.1 Planeación del proyecto y sistemas de control

En la lista siguiente aparecen los resultados típicos de una planeación pobre, en el inicio del proyecto:

- Entusiasmo desordenado
- Desilusión
- Caos
- Búsqueda de culpables
- Castigo de inocentes
- Promoción de no participantes
- Definición de los requerimientos

Obviamente, la definición de los requerimientos debe ser el primer paso.

Hay cuatro razones básicas para la planeación del proyecto:

- Para eliminar o reducir la incertidumbre
- Para mejorar la eficiencia en la operación
- Para entender mejor los objetivos
- Para proveer una base para el monitoreo y control

La planeación es determinar *qué* necesita hacerse, *por quiénes* y *cuándo*, para cumplir totalmente con la responsabilidad. Hay nueve componentes principales en la fase de planeación:

- Objetivo: una meta que debe ser alcanzada en un cierto tiempo
- Plan: la estrategia a seguir y las principales acciones a considerar para alcanzar o exceder los objetivos
- Programa: plan que muestra cuándo las actividades puedan ser iniciadas o terminadas
- Presupuesto: costos que se requieren para alcanzar o exceder los objetivos
- Pronóstico: una proyección de lo que debe suceder en cierto tiempo
- Organización: diseño del número y clase de puestos, con sus correspondientes funciones y responsabilidades, requeridas para alcanzar o exceder los objetivos
- Política: una guía general para la toma de decisiones y acciones individuales
- Procedimiento: un método detallado de alguna de las políticas

- Estándar: un nivel de realización individual o de grupo, definido como adecuado o aceptable

Varios de estos factores requieren de comentario adicional. El pronóstico a veces no es fácil, especialmente si se requiere de predicción de reacciones ambientales. Por ejemplo, normalmente, la planeación es definida como estratégica, táctica u operacional. La planeación estratégica es para cinco años o más, la táctica puede ser para uno a cinco años y la operacional para seis meses a un año. El pronóstico requiere una comprensión de los esfuerzos como se encuentran en

- El mercado
- Investigación y desarrollo
- Producción
- Financiamiento
- Personal
- La estructura administrativa

Si la planeación es estrictamente operacional, estos factores pueden estar claramente definidos. Sin embargo, si es estratégica o de largo plazo, entonces el futuro económico puede variar y entonces es necesario un replanteamiento, ya que pueden cambiar las metas y objetivos.

Los últimos tres factores: políticas, procedimientos y estándares pueden variar de un proyecto a otro, por sus propias características. Cada administrador de proyectos debe establecer las políticas. Éstas son cursos de acción o guías basadas en los siguientes principios:

- Las políticas subordinadas son suplementarias de las políticas superiores
- Están basadas en principios conocidos en las áreas operativas
- Deben ser definibles, entendibles y preferentemente por escrito
- Deben ser flexibles y estables
- Deben ser razonablemente comprensibles en su alcance

Las políticas a veces son similares de un proyecto a otro, en cambio los procedimientos pueden ser drásticamente diferentes.

La planeación varía en cada nivel de la organización. En un nivel individual, la planeación requiere solamente de una decisión antes de que tomar una decisión irrevocable sea tomada. En un trabajo de grupo o nivel funcional, la planeación debe incluir:

- Convenir en el propósito
- Asignación y aceptación de responsabilidad individual
- Coordinación de las actividades
- Aumentar el compromiso de las metas del grupo
- Comunicación lateral

En el nivel organizacional, la planeación debe incluir:

- Reconocimiento y resolución de conflictos en grupo
- Asignación y aceptación de responsabilidades de grupo
- Aumentar la motivación y el compromiso de las metas de la organización
- Comunicación vertical y lateral
- Coordinación de actividades entre grupos

La lógica de la planeación requiere contestar a varias preguntas para abarcar las alternativas y restricciones. Una lista parcial de preguntas debe incluir:

- Preparar el ambiente de análisis
 - ¿Dónde estamos?
 - ¿Cómo y por qué estamos aquí?
- Conjunto de objetivos
 - ¿Es aquí donde queremos estar?
 - ¿Dónde nos gustaría estar? ¿en un año? ¿en cinco años?
- Listar las alternativas
 - ¿Dónde estaremos de continuar así?
 - ¿Es a donde queremos ir?
 - ¿Cómo podríamos ir a donde queremos?
- Listar amenazas y oportunidades
 - ¿Qué se puede prevenir?
 - ¿Qué ayuda se puede brindar?
- Preparar pronósticos

- ¿A dónde somos capaces de ir?
- ¿Qué necesitamos hacer para ir a dónde queremos?
- Seleccionar estrategias
 - ¿Cuál es el mejor curso de acción?
 - ¿Cuáles son los beneficios potenciales?
 - ¿Cuáles son los riesgos?
- Preparar los programas de acción
 - ¿Qué necesitamos hacer?
 - ¿Cuándo necesitamos hacerlo?
 - ¿Cómo debe hacerse?
 - ¿Quién debe hacerlo?
- Monitoreo y control
 - ¿Estamos en lo normal? Si no, ¿por qué?
 - ¿Qué debemos hacer para estar en lo normal?
 - ¿Podemos hacerlo?

El primer paso en el proceso de planeación es definir el objetivo del proyecto, es decir, el resultado esperado o el producto final. El objetivo debe estar definido de manera clara y ser un acuerdo entre el cliente y la organización o contratista que realizará el proyecto. También debe ser claro, alcanzable, específico y medible o mesurable, el logro del objetivo del proyecto debe ser reconocible con facilidad, tanto por el cliente como por el contratista. El objetivo es la meta, el producto final tangible que el equipo de proyecto debe entregar.

El objetivo de un proyecto por lo general se define en términos de alcance, programa y costo; requiere la terminación del trabajo dentro del presupuesto, en un cierto tiempo.

Un objetivo de proyecto tal como *terminar la casa* es demasiado ambiguo, debido a que el cliente y el contratista pueden tener puntos de vista diferentes de lo que significa *terminar*. Un mejor objetivo es *terminar la casa para el 31 de mayo según los planos y especificaciones con fecha de 15 de octubre y un presupuesto no mayor de \$150 000*. Las especificaciones y los planos proporcionan los detalles

respecto al alcance del trabajo que el contratista acordó realizar. Por consiguiente, no deben surgir discusiones respecto a si la jardinería y el alfombrado estaban incluidos o sobre el tamaño de la puerta de entrada, el color de pintura de las recámaras o el estilo de la instalación de iluminación. Todo esto se debe haber explicado con detalle en las especificaciones.

Lo ideal sería que el objetivo del proyecto fuera claro y conciso desde el inicio de éste. Sin embargo, a veces es necesario modificarlo a medida que se avanza. El gerente del proyecto y el cliente deben ponerse de acuerdo en todos los cambios que se harán al objetivo inicial del proyecto, ya que cualquier modificación de este tipo podría afectar

Los objetivos generalmente no son independientes; están interrelacionados, implícita y explícitamente. Muchas veces no es posible satisfacerlos. En este punto, la administración debe priorizar los objetivos, en cuanto cuáles son estratégicos y cuáles no lo son. Los problemas típicos al desarrollar objetivos son los siguientes:

- Los objetivos y metas del proyecto no están convenidos por todas las partes
- Son demasiados rígidos para acomodarse a los cambios
- El tiempo es insuficiente para definir bien los objetivos
- Los objetivos no están suficientemente documentados
- Falta de coordinación entre cliente y personal del proyecto
- Rotación alta de personal

Sólo hasta que los objetivos están claramente definidos, se deben considerar cuatro cuestiones:

- ¿Cuáles son los principales elementos del trabajo requerido para satisfacer estos objetivos y cómo están interrelacionados estos elementos?
- ¿Cuál división funcional debe asumir la responsabilidad para lograr los objetivos?
- ¿Están disponibles los recursos administrativos de la corporación?
- ¿Cuáles son los requerimientos de flujo de información para el proyecto?

3.2 SOW (Statement Of Work). Descripción del trabajo

Una planeación efectiva no se puede lograr a menos que esté disponible toda la información necesaria para el inicio. La información requerida incluye:

- La descripción del trabajo (SOW)
- Las especificaciones del proyecto
- Los eventos importantes del programa
- La estructura de descomposición del trabajo (WBS)

El SOW es una descripción narrativa del trabajo para el proyecto. Incluye a los objetivos del proyecto, la descripción breve del trabajo, la restricción de fondos, las especificaciones y el programa. El programa incluye:

- Fecha de inicio
- Fecha de terminación
- Eventos relevantes
- Reportes

La complejidad del SOW está determinada por el administrador del proyecto, por el cliente o por los usuarios.

11.3 WBS (Work Breakdown Structure). Estructura de descomposición del trabajo

Una vez que el objetivo del proyecto se ha definido, el paso siguiente es determinar qué elementos de trabajo o actividades es necesario realizar para lograrlo. Esto requiere la elaboración de una lista de todas las actividades. Existen dos métodos para preparar una lista como ésta. Uno es que el equipo de proyecto elabore la lista de actividades mediante una *lluvia de ideas*. Este método es conveniente para proyectos pequeños, pero para proyectos más grandes y complejos es difícil desarrollar una lista global de actividades sin olvidar algunos elementos. Para proyectos como éste, el mejor método es crear una *Estructura de descomposición del Trabajo* (WBS, *Work Breakdown Structure*).

La planeación del proyecto tiene que ver con los conceptos de un objetivo y un alcance del trabajo definiendo el producto que se obtendrá. El presupuesto consiste de planes y especificaciones que establecen el alcance del trabajo a

realizar. Para ser administrado, el alcance del trabajo debe ser dividido en sus componentes, los cuales definen los elementos de trabajo o bloques de construcción los cuales necesitan realizarse para alcanzar el objetivo final. Esto significa asumir que el proyecto es la suma de sus sub-elementos.

Es muy importante la definición de los sub-elementos ya que determinan cómo el proyecto será realizado en el campo. Los sub-elementos también son llamados *paquetes de trabajo*. El conjunto de paquetes de trabajo se muestra como una estructura jerárquica llamada *Estructura de descomposición del Trabajo (WBS, Work Breakdown Structure)*. La figura 3.2 ilustra el ejemplo de los niveles para el desarrollo de la WBS para la construcción de un edificio:

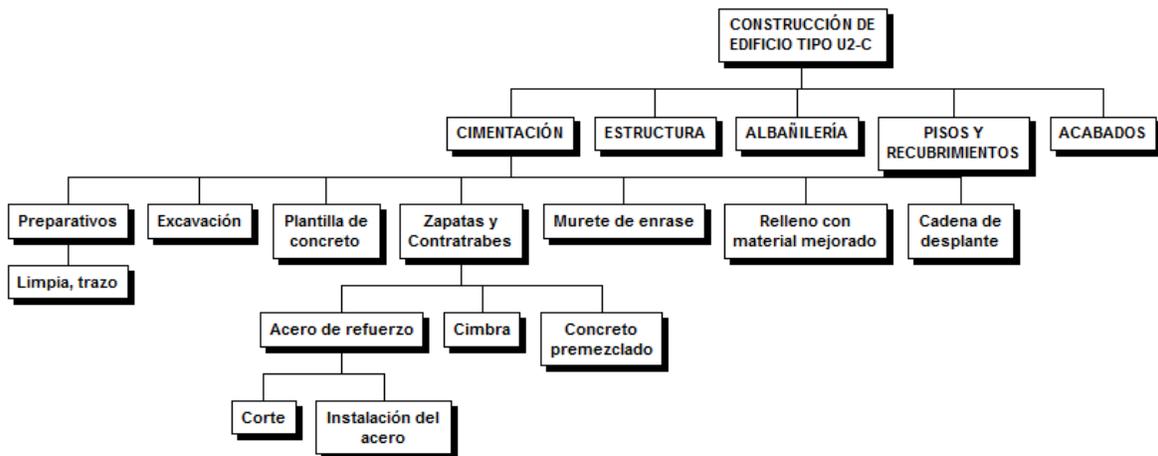


Figura 3.2 Ejemplo de niveles de WBS

El desarrollo de la WBS requiere del conocimiento del alcance del trabajo. La experiencia en construcción es clave para establecer una WBS funcional. La WBS y la jerarquía de los paquetes de trabajo de los cuales está compuesta son utilizados para determinar el estado del proyecto y administrarlo desde la perspectiva de tiempo, costo y calidad.

La planeación puede ser como la definición y la secuencia de los paquetes de trabajo dentro de un proyecto dado. Esto es:

Planeación = WBS + Secuencia del trabajo

La planeación lleva a un refinamiento del alcance del trabajo como se establece en los contratos. Un buen plan reduce la incertidumbre y mejora la eficiencia. La WBS también asiste en la dimensión de la planeación. Esto es, define el nivel de planeación requerida. Por ejemplo, si se viaja a una ciudad, ciertos elementos principales del viaje deben ser planeados. Si se viaja por aire, se necesita adquirir un boleto. Se debe determinar qué llevar, es necesario un alojamiento, reservar en un hotel. En un nivel más bajo de la jerarquía, se debe determinar cómo ir del aeropuerto al hotel. Si el tiempo es crítico, se debe rentar un vehículo y que espere en el aeropuerto; de otra manera se debe resolver. En efecto, el desarrollo de la WBS y la definición de los paquetes de trabajo es un ejercicio de *anticipar las cosas*. Esto mejora los mecanismos que facilitan la planeación. El detalle de la WBS debe variar según la situación y complejidad del proyecto.

La planeación de un proyecto mediante una WBS permite desarrollar una estructura para la ejecución del proyecto, el monitoreo y control. Se minimiza la incertidumbre, aclara los sub-objetivos dentro del objetivo general y ayuda a establecer la secuencia de las actividades y a evitar crisis en la administración.

Sin embargo, la planeación es una tarea en curso y continúa así durante la vida del proyecto. El General Dwight D. Eisenhower alguna vez dijo: *Los planes son nada, la planeación es todo*. La planeación al inicio es inevitablemente impactada por eventos que inducen cambios en el plan. En la búsqueda del éxito en un proyecto, el administrador está obligado a utilizar su agilidad para identificar desviaciones del plan y resolver problemas planteados por éstas. La figura 3.3 refleja el ciclo de planeación en términos de un diagrama de flujo. Cuando la WBS ha sido desarrollada, se mejora la estructura dentro de la cual la planeación puede influir en todo el ciclo de vida del proyecto. Se vuelve el vehículo para identificar desviaciones, valorar su impacto, y hacer las correcciones al plan. Sólo entonces, *la planeación es todo*.



Figura 3.3 Ciclo planeación-administración

Desarrollo de la WBS

Los paquetes de trabajo constituyen los elementos últimos de la WBS. Deben estar definidos para apoyar al administrador en la determinación del estado o nivel de avance del proyecto. Una definición de la WBS sería: *es la descomposición progresiva y jerárquica del proyecto en piezas más pequeñas hasta un nivel en el cual el costo es aplicado.*

Cuando se monitorea y controla un proyecto, el costo y el tiempo son las áreas de interés. La WBS es extremadamente útil en el desarrollo de los planes de tiempo y costo.

Para crear la WBS se debe considerar la guía siguiente:

- 1) Los paquetes de trabajo deben ser claramente distintos unos de otros
- 2) Cada paquete de trabajo debe tener una sola fecha de inicio y terminación
- 3) Cada paquete de trabajo debe tener un solo presupuesto
- 4) Deben ser lo suficientemente pequeños para que sea posible medir con precisión el avance del proyecto

Por ejemplo, en la figura 3.2 un paquete de trabajo en el nivel IV puede ser el trabajo asociado con el armado y colocación del acero de refuerzo en las zapatas.

Este paquete de trabajo:

- 1) Está claramente definido y separado de otros paquetes de trabajo,
- 2) Tiene una fecha de inicio y de terminación, y
- 3) Tiene un costo, el cual es único y es lo suficientemente pequeño que permite medir el avance.

Los paquetes de trabajo en el nivel V se vuelven más genéricos y más difíciles de distinguir como únicos. Por ejemplo, las tareas como corte e instalación del acero son muy cortas y dificultan la asignación de un costo. Entonces, los paquetes de trabajo del nivel V en la figura 3.2 pueden verse como subtareas que pueden ser prorrateadas en los paquetes de trabajo del nivel IV.

En la construcción, los aspectos que contribuyen a la descomposición del trabajo en paquetes son:

- 1) Procedimientos constructivos
- 2) Técnicas
- 3) Trabajadores
- 4) Equipo

La definición de los paquetes de trabajo se puede facilitar usando cuatro categorías que ayudan para establecer el nivel. Estas categorías son:

- 1) Localización dentro del proyecto (Cimentación-zapata)
- 2) Tipo de material (concreto, acero, etc.)
- 3) Método de colocación (excavación)
- 4) Recursos de organización (mano de obra y equipo necesario)

En un proyecto de edificación, la construcción requiere de una *cimentación* para soportar la carga de la superestructura. La cimentación debe pensarse como una localización (así como un sistema estructural de soporte). La *localización o área* del trabajo es la parte física de la construcción. Esto es, se puede percibir la localización del paquete. Un paquete definiendo la losa de piso en la sección A en

el 3er. piso de un edificio es algo que puede ser localizado con facilidad. El hecho de que la losa sea de concreto es otro parámetro importante.

La *localización* y el *tipo de material* pueden influir en el método de instalación o colocación. El *método de colocación* y el *tipo de material* pueden determinar los esfuerzos humanos y equipo necesarios. El *método de colocación* o instalación determina el *tipo de recursos* requeridos, esto diferencia un paquete de otro. Por ejemplo, en un caso se puede colocar concreto mediante una bomba y en otra situación puede ser transportado de una planta. En cada caso, los recursos de mano de obra y equipo, el presupuesto, y la productividad de la colocación del concreto puede ser diferente.

Una WBS bien definida facilita el desarrollo del programa preliminar y del programa detallado

Estimación del costo y control en la WBS

La WBS facilita el control del costo durante la ejecución del proyecto⁷. Los paquetes de trabajo son definidos como que tienen su propio y único presupuesto. Cuando se hace referencia a los paquetes de trabajo en el contexto de control del costo, la terminología *cantidades de control* o *control de cantidades* son usados con frecuencia. Durante el proceso del presupuesto, el contratista prepara una estimación del costo, el cual se vuelve la base para el presupuesto firmado para los propósitos del proyecto. Si es aceptada, la estimación de detalle es convertida en un *presupuesto* que sirve como línea base para controlar el gasto durante la ejecución del proyecto.

El control del presupuesto se prepara en base a un refinamiento del presupuesto. La estructura del presupuesto está vinculada a la descomposición del proyecto en sus principales elementos de costo.

Para proyectos pequeños y simples, tal como la pavimentación de una calle, la descomposición del presupuesto puede consistir en pocos elementos (mano de obra, materiales, y equipo). Para proyectos grandes y complejos, la estructura y nivel de detalle de la descomposición del costo es clave para un control efectivo

⁷ Si se emplea una WBS, los elementos principales son los paquetes de trabajo y las cantidades del control son los sub-elementos del paquete de trabajo.

de los gastos. En el caso del proyecto mostrado, deben desarrollarse los presupuestos para cada uno de los paquetes de trabajo indicados en la figura 3.4. El resumen de estos presupuestos de los paquetes individuales de trabajo se utiliza en el seguimiento total del proyecto y determina el estado del proyecto en cualquier tiempo durante la construcción.

El final del proceso de división de las actividades en actividades elementales vendrá determinado por el grado de control que se vaya a tener sobre cada actividad durante la gestión del proyecto. Por ejemplo, si una actividad se subcontrata no tiene sentido dividirla en actividades menores, ya que el subcontratista será el responsable de la gestión de esa parte del proyecto.

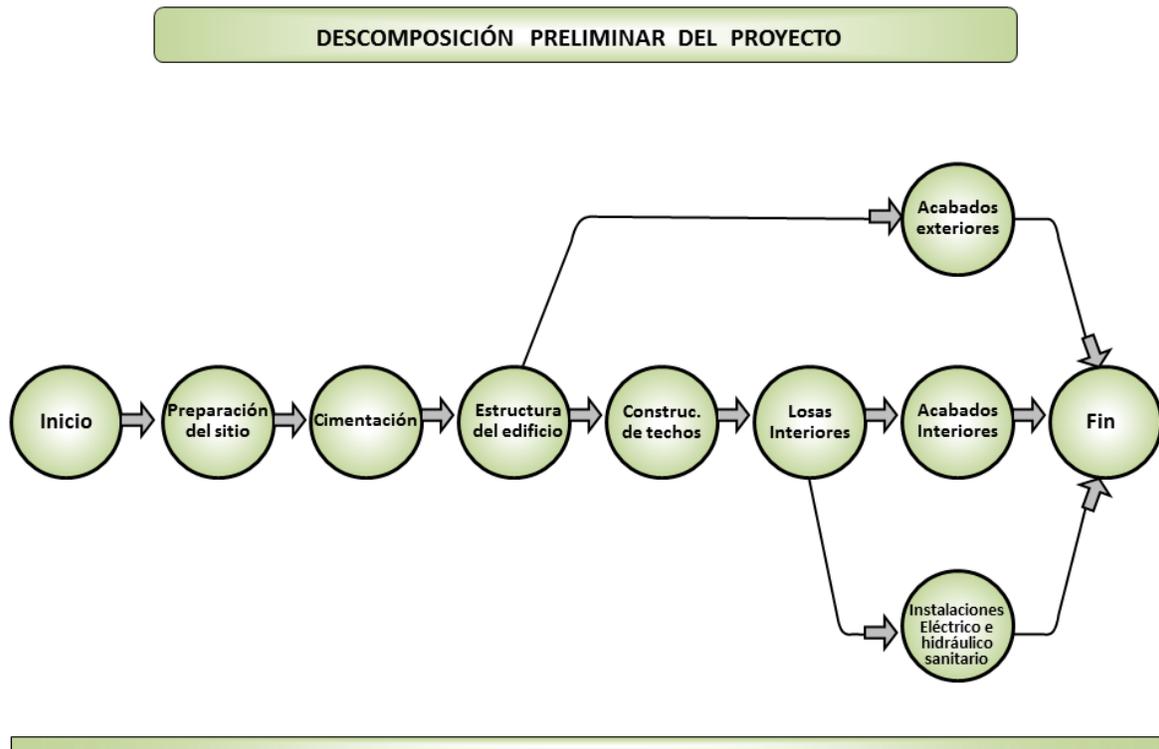


Figura 3.4 Descomposición preliminar del proyecto

En proyectos complejos (edificios grandes, plantas de manufactura, etc.), se requiere una WBS más completa. Literalmente miles de paquetes deben ser definidos y referirse en un sistema consistente y confiable de la descomposición del trabajo. Para aportar consistencia y estructura a la administración de los sistemas de control, se emplea un *código de cantidades* como una guía para definir y catalogar los centros de costo en el proyecto.

3.4 Programación del proyecto

Un programa es la conversión del plan de acción de un proyecto en un calendario de operación; como tal, es la base para monitorear y controlar las actividades de un proyecto y considerado junto con el plan y el presupuesto, es probablemente la mejor herramienta para el administrador de proyectos.

Es fundamental para el éxito de cualquier proyecto, documentar la planeación del proyecto en la forma de un plan, el cual contiene una descripción de todas las fases del proyecto; por lo que un programa se basa típicamente en la WBS (Work Breakdown Structure, Estructura de Descomposición del Trabajo) en la que no es necesario incluir todos los paquetes de trabajo; se puede centrar en aquellos que necesitan ser monitoreados para mantener un control adecuado del proyecto.

Desde el punto de vista general, es un sistema que permite representar gráficamente el desarrollo de un proyecto a través de sus operaciones o actividades, las fechas en las cuales, éstas deben ejecutarse, los recursos que deben emplearse para su realización y por tanto sus costos, el volumen que deberá llevarse a cabo para cumplir con la producción comprometida, los responsables de ejecutarlas y la producción que deberá facturarse; además es base para poder ejercer realmente el control del proyecto.

Todo proyecto conlleva la realización de una serie de actividades para su desarrollo.

La distribución en el tiempo de dichas actividades y la consideración de los recursos necesarios, son las funciones que desarrollar en la planeación de proyectos.

El objetivo de la planeación de proyectos es obtener una distribución de las actividades en el tiempo y una utilización de los recursos que minimice el costo del proyecto cumpliendo con las condicionantes exigidas de: plazo de ejecución, técnica a utilizar, recursos disponibles, nivel máximo de ocupación de dichos recursos, etcétera.

Por tanto, la *planeación de proyectos* es una programación de actividades y una gestión de recursos para obtener un objetivo de costo cumpliendo con las condicionantes exigidas por el cliente.

3.5 CPM (Critical Path Method)

CPM (Critical Path Method, Método de la Trayectoria Crítica) fue desarrollado en el periodo de diciembre de 1956 a febrero de 1959 por la compañía Dupont y por Remington Rand Univac. El objetivo del equipo de investigación fue determinar cómo reducir el tiempo requerido para realizar algunas rutinas de producción, mantenimiento y trabajos de construcción.

En la actualidad, la programación de un proyecto es una tarea fácil si se conocen duraciones de las actividades y sus precedencias; utilizando el *Project* de *Microsoft®*; sin embargo, se puede conocer mejor el concepto de la programación si se exploran las fases que hay que seguir para tener la información necesaria del programa. Habría que decir que lo que se obtiene son tiempos de programación a partir de un tiempo *ceró* de inicio del proyecto; a diferencia de los tiempos *calendario* que aporta el *Project* con una fecha de inicio que se puede establecer.

En la tabla 3.3 se muestran todas las etapas del procedimiento de programación y la herramienta que facilitaría el proceso:

Tabla 3.3 Algoritmo de CPM

1	Identificar tareas	←	SOW Statement Of Work WBS Work Breakdown Structure																														
	↓		<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CÓDIGO</th> <th rowspan="2">PRECEDENCIA</th> <th rowspan="2">DURACIÓN, SEMANAS</th> <th colspan="2">TIEMPO PRÓXIMO</th> <th colspan="2">TIEMPO LEJANO</th> <th colspan="2">HOLGURA</th> </tr> <tr> <th>INICIO</th> <th>TÉRMINO</th> <th>INICIO</th> <th>TÉRMINO</th> <th>LIBRE</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							CÓDIGO	PRECEDENCIA	DURACIÓN, SEMANAS	TIEMPO PRÓXIMO		TIEMPO LEJANO		HOLGURA		INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO	LIBRE	TOTAL									
CÓDIGO	PRECEDENCIA	DURACIÓN, SEMANAS	TIEMPO PRÓXIMO		TIEMPO LEJANO		HOLGURA																										
			INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO	LIBRE	TOTAL																									
2	Matriz de precedencias	←	Lógica de la construcción																														
	↓																																
3	Red del proyecto	←	Actividades Predecesoras																														
	↓																																
4	Duración de las actividades	←	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Actividad</th> <th>Descripción</th> <th>Unidad</th> <th>C O</th> <th>Grupo</th> <th>R G</th> <th>J G</th> <th>N G</th> <th>D N</th> <th>D N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>Excavación</td> <td>M3</td> <td>25</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>1</td> <td>3</td> <td>4.16</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>							Actividad	Descripción	Unidad	C O	Grupo	R G	J G	N G	D N	D N	B	Excavación	M3	25	1	2	1	3	4.16	4				
Actividad	Descripción	Unidad	C O	Grupo	R G	J G	N G	D N	D N																								
B	Excavación	M3	25	1	2	1	3	4.16	4																								
	↓																																
5	Cálculo de tiempos	←	Algoritmo de caminos de valor máximo																														
	↓																																
6	Cálculo de holguras	←	$HL(i)=TPI(j)-D(i)-TPI(i)$ $HT(i)=TLI(i)-TPI(i)$																														
	↓																																
7	Identificación de ruta crítica	←	Actividades con HT=0																														
	↓																																
8	Tabla de resultados	←	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">CÓDIGO</th> <th rowspan="2">PRECEDENCIA</th> <th rowspan="2">DURACIÓN, SEMANAS</th> <th colspan="2">TIEMPO PRÓXIMO</th> <th colspan="2">TIEMPO LEJANO</th> <th colspan="2">HOLGURA</th> </tr> <tr> <th>INICIO</th> <th>TÉRMINO</th> <th>INICIO</th> <th>TÉRMINO</th> <th>LIBRE</th> <th>TOTAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>							CÓDIGO	PRECEDENCIA	DURACIÓN, SEMANAS	TIEMPO PRÓXIMO		TIEMPO LEJANO		HOLGURA		INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO	LIBRE	TOTAL									
CÓDIGO	PRECEDENCIA	DURACIÓN, SEMANAS	TIEMPO PRÓXIMO		TIEMPO LEJANO		HOLGURA																										
			INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO	LIBRE	TOTAL																									

Ejemplo de CPM

Tabla 3.4 Matriz de precedencias

Actividad		Duración, semanas	Precedencia
Código	Descripción		
A	Preliminares	1.00	-
B	Cimentación	3.00	-
C	Estructura de concreto	6.00	B
D	Muros de tabique	2.00	C
E	Fabricación de herrería	3.00	A
F	Colocación de herrería	1.00	D, E
G	Fabricación de cancelería	3.00	A
H	Colocación de cancelería	1.00	G, J
I	Instalaciones	3.00	D
J	Aplanados	2.00	D
K	Relleno y compactación para pisos	1.00	C
L	Pisos de concreto	1.00	D, K
M	Colocación de loseta	2.00	L
N	Pintura	2.00	J
O	Limpieza	1.00	N

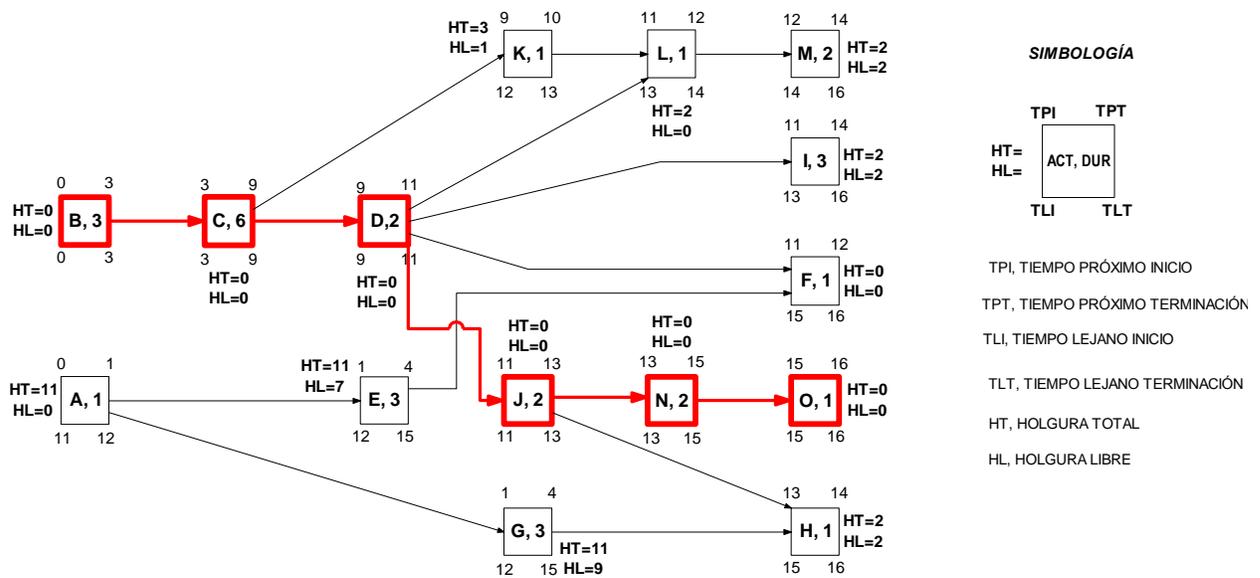


Figura 3.5 Red del proyecto

Tabla 3.5 Resumen de resultados

Código	Precedencia	Duración, semanas	Tiempo próximo		Tiempo lejano		Holguras	
			Inicio	Término	Inicio	Término	Libre	Total
A	-	1.00	0	1	11	12	0	11
B	-	3.00	0	3	0	3	0	0
C	B	6.00	3	9	3	9	0	0
D	C	2.00	9	11	9	12	0	0
E	A	3.00	1	4	12	15	7	11
F	D, E	1.00	11	12	15	16	4	4
G	A	3.00	1	4	12	15	9	11
H	G, J	1.00	11	12	15	16	2	2
I	D	3.00	11	14	13	16	2	2
J	D	2.00	11	13	11	13	0	0
K	C	1.00	9	10	12	13	1	3
L	D, K	1.00	11	12	13	14	0	2
M	L	2.00	12	14	14	16	2	2
N	J	2.00	13	15	13	15	0	0
O	N	1.00	15	16	15	16	0	0

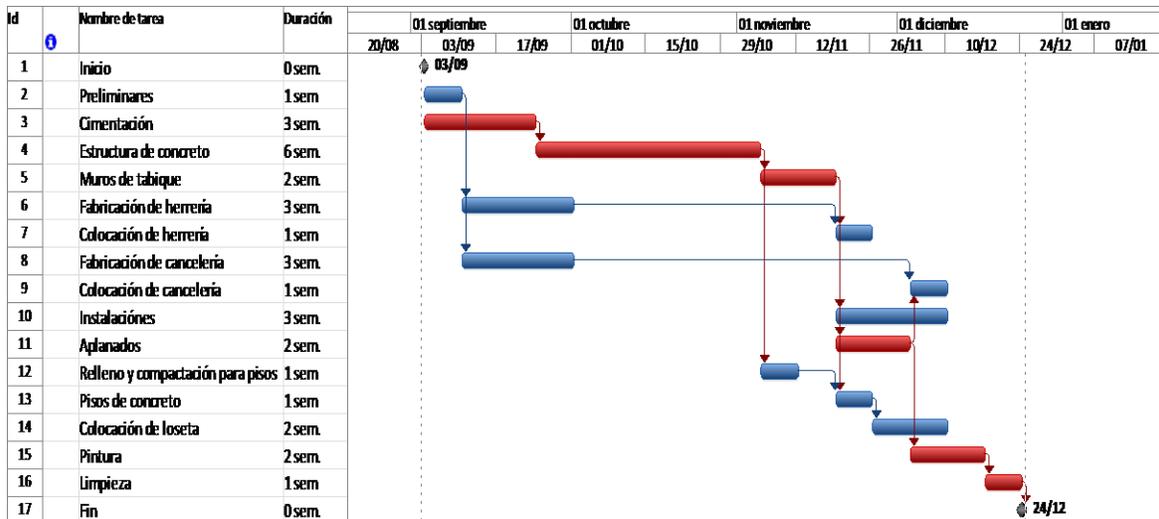


Figura 3.6 Diagrama de Gantt del proyecto (Project de Microsoft®)

3.6 PDM (Precedence Diagramming Method) Método del diagrama de precedencias

En 1961, John W. Fondahl (Universidad de Stanford) introdujo la técnica línea-círculo-conexión que ahora se conoce como *diagrama de precedencias*. Esta ventaja satisfizo una de las deficiencias al eliminar el uso de actividades ficticias y redujo el número de actividades requeridas. *H. B. Zachry Company* de San Antonio, Texas, en colaboración con *IBM Corporation* realizaron intentos para superar las restricciones impuestas por la división de las actividades. Posteriormente, J. David Craig y Ponce-Campos, ampliaron el método para incluir las posibles relaciones de traslape y desde entonces simplificaron la presentación de diagramas y el algoritmo de computadora para sus soluciones.

Inicialmente J. W. Fondahl, introdujo el concepto de *Retraso (lag)* asociado con las relaciones entre actividades y se utilizaba una matriz de *precedencias*. Posteriormente, en 1964 estos conceptos se utilizaron en un manual de usuario de la IBM acerca de un programa de computadora para procesar redes, uno de los principales autores de este manual fue J. David Craig.

En proyectos de construcción, en particular, es muy común que ocurran las siguientes restricciones:

- La actividad B no puede iniciarse antes de que la actividad A tenga un avance de al menos 2 días (Figura 3.6 a)
- La actividad A debe terminarse al menos 3 días antes de terminar la actividad B (Figura 3.6 b)
- La actividad B no puede iniciar antes de 4 días de terminar A (Figura 3.6 c)
- La actividad B no puede terminarse antes de 8 días del inicio de A (Figura 3.6 d).

Se pueden distinguir cuatro diferentes relaciones entre actividades:

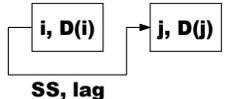
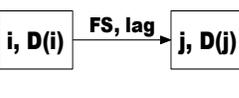
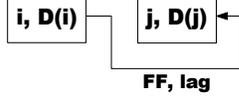
Relación (Finish-Start)

Relación (Start - Start)

Relación (Finish - Finish)

Relación (Start - Finish)

En la figura 3.7 se presenta el algoritmo para programar con PDM, en que se distinguen las diferentes relaciones posibles entre actividades y la manera de calcular los tiempos; el número que aparece abajo en cada caso, corresponde al orden de cálculo:

Tipo de relación	TPI(j)	TPT(j)	TLI(i)	TLT(i)	HT(i)	HL(i)
 SS, lag	TPI(i)+lag 1	TPI(j)+D(j) 2	TLI(j)-lag 3	TLI(i)+D(i) 4	TLI(i)-TPI(i)	TPI(j)-lag-TPI(i)
 SF, lag	TPT(j)-D(j) 2	TPI(i)+lag 1	TLT(j)-lag 3	TLI(i)+D(i) 4	TLI(i)-TPI(i)	TPT(j)-lag-TPI(i)
 FS, lag	TPT(i)+lag 1	TPI(j)+D(j) 2	TLT(i)-D(i) 4	TLI(j)-lag 3	TLI(i)-TPI(i)	TPI(j)-lag-TPT(i)
 FF, lag	TPT(j)-D(j) 2	TPT(i)+lag 1	TLT(i)-D(i) 4	TLT(j)-lag 3	TLI(i)-TPI(i)	TPT(j)-lag-TPT(i)

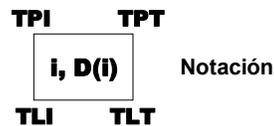


Figura 3.7 Algoritmo de PDM

Ejemplo con PDM

La tabla 3.9 representa a un proyecto en particular y muestra la información necesaria para programar un proyecto con PDM:

Tabla 3.6 Información del proyecto

ACTIVIDAD		Unidad	Precedencia	Cantidad	Duración, días	INFORMACIÓN ADICIONAL	Relación	Retraso
A	Trazo	M	-	800	2	-	-	-
B	Excavación de zanja en todo tipo de material	M3	A	1500	19	Comienza hasta terminar A	FS	0
C	Plantilla apisonada con material producto de excavación	M3	B	64	4	Puede iniciarse 16 días después de iniciar B	SS	16
D	Instalación de tubería de concreto	M	C	800	7	Comienza hasta terminar C	FS	0
			K			Puede iniciarse 3 días después de iniciar K	SS	3
E	Pozo de visita (h=1.5 m)	Pza.	D	15	8	Es necesario iniciar 2 días después de terminar D	FS	2
F	Relleno compactado con material de banco	M3	D	1500	10	Puede iniciarse 4 días después de iniciar D	SS	4
G	Carga a máquina y acarreo a 1 km de material de excavación	M3	C	1600	4	Deben emplearse 5 días entre el fin de C y el fin de G	FF	5
H	Suministro de tubería de concreto	M	-	800	15	-	-	-
I	Suministro de tapa y brocal	Pza.	-	15	25	-	-	-
J	Instalación de tapa y brocal	Pza.	E	15	3	Comienza hasta terminar E	FS	0
			I			Deben emplearse 25 días entre el inicio de I y el fin de J	SF	25
K	Localización de tubería en el área	M	H	800	5	Puede iniciarse 5 días después de iniciar H	SS	5

En la figura 3.8 se muestra la red del proyecto con todos los cálculos de tiempos, se identifica a la ruta crítica y se calculan las holguras total y libre.

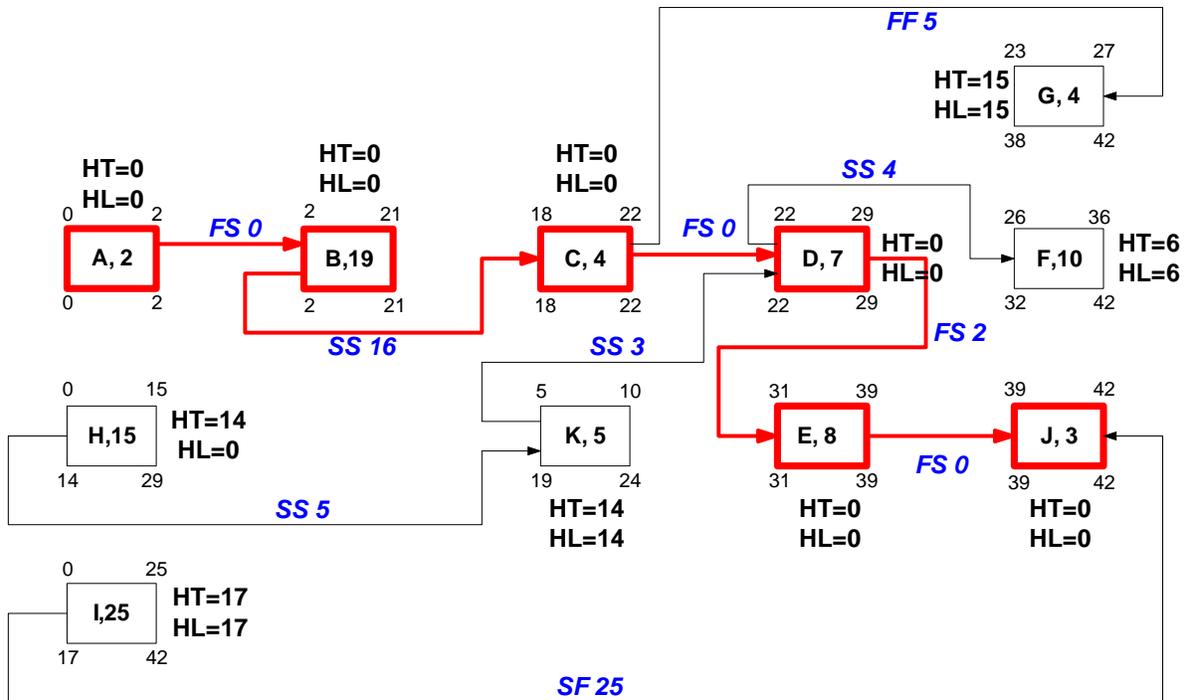


Figura 3.8 Red del proyecto

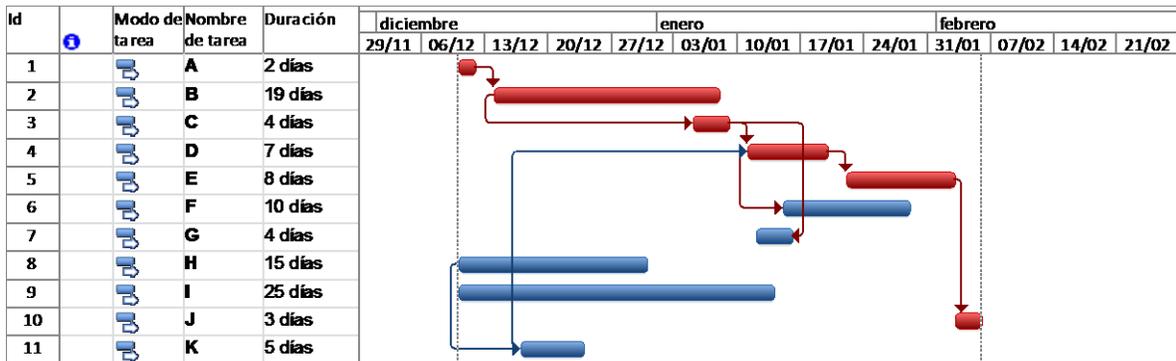


Figura 3.9 Diagrama de Gantt (Project® de Microsoft)

Tabla 3.10 Resumen de resultados

Código	Precedencia	Duración, días	Tiempo próximo		Tiempo lejano		Holguras	
			Inicio	Término	Inicio	Término	Libre	Total
A	-	2	0	2	0	2	0	0
B	A	19	2	21	2	21	0	0
C	B	4	18	22	18	22	0	0
D	C, K	7	22	29	22	29	0	0
E	D	8	31	39	31	39	0	0
F	D	10	26	36	32	42	6	6
G	C	4	23	27	38	42	15	15
H	-	15	0	15	14	29	0	14
I	-	25	0	25	17	42	17	17
J	E	3	39	42	39	42	0	0
K	H	5	5	10	19	24	14	14

4 NIVELACIÓN DE RECURSOS

4.1 Asignación de recursos

Durante el planteamiento del proyecto, una de las actividades que debe desarrollar el administrador del proyecto es la de planear los recursos humanos que necesitará para poder cumplir con el trabajo.

Esta planeación incluye las siguientes actividades:

1. Definir los perfiles, roles y responsabilidades de cada recurso que participará en el proyecto;
2. Decidir de dónde se obtendrán los recursos;

Definición de perfiles, roles y responsabilidades

Durante esta fase del proyecto, el gerente del proyecto debe identificar los perfiles, roles y responsabilidades que tendrá cada miembro del equipo para luego buscar los individuos que puedan incorporarse a él. Esta tarea se realiza en forma paralela a la estimación de recursos durante la estimación de costos del proyecto, ya que deben tenerse en cuenta los perfiles requeridos y los costos asociados.

Dónde obtener los recursos

Una vez identificados los perfiles necesarios para desarrollar las actividades del proyecto, se debe buscar dónde obtenerlos. Las fuentes para obtener los recursos son dos:

- Internos a la organización. Se trata de las personas que actualmente están trabajando en la organización y que pueden ser afectadas a un proyecto.
- Externos a la organización. Son recursos que se obtienen contratándolos únicamente por el lapso que dura el proyecto en cuestión. Con bastante frecuencia, la contratación externa de recursos humanos se debe a que la organización que desarrolla el proyecto no cuenta con personas que tengan

determinados perfiles o que, aunque cuente con ellas, no puede asignarlas al proyecto.

J.F. Boss⁸, resume los fundamentos del método de A. R. Burgess y J. B. Killebrew, en:

La eficacia en la asignación de un recurso determinado, en función de una distribución ideal, varía en sentido inverso a la suma obtenida en cada unidad de tiempo, del principio al fin del proyecto de los cuadrados de las diferencias entre las cargas totales que corresponden a las dos asignaciones.

El objetivo de la optimización para la nivelación de recursos es:

- Respetar la duración calculada del camino crítico
- Que el consumo de los recursos durante la duración del proyecto sea lo más uniforme posible

En el presente trabajo se desarrollará el algoritmo de Burgess-Killebrew para la nivelación de un solo recurso, por ejemplo, maquinaria, con el objeto de comprender el fundamento del concepto.

Suponiendo que diariamente las necesidades de maquinaria para cada actividad son de una excavadora. La *carga* diaria se obtiene sumando las máquinas necesarias para realizar las actividades programadas para cada día. Puede construirse así un *diagrama de cargas*.

El diagrama de red del proyecto es la base del cálculo de tiempos que forman parte del Método del Camino Crítico. Es importante destacar el hecho de que esta información del proyecto se desarrolla sin tener en cuenta las disponibilidades totales de recursos. Así, podemos haber estimado que la actividad A requiere una y la B necesita 2. Si las disponibilidades totales fueran de 6 personas, se tendrían

⁸ Boss, J.F. "Prise en consideration des contraintes pesant sur la disponibilité des moyens Dans les methodes de chemin critique". Revue Francaise de Recherche Operationelle, n° 38, 1996.

unas necesidades totales superiores a las disponibilidades si técnicamente A y B se pudieran hacer de forma simultánea.

Cuando se comparan los niveles de disponibilidad de recursos frente a los requerimientos totales aparecen los problemas de asignación. Puede ocurrir que en algunos períodos de tiempo la demanda exceda a las disponibilidades o que exista una variación excesiva en los requerimientos de modo que sea necesario *suavizar* esos picos demasiado pronunciados. Una tercera posibilidad es que la duración inicial del proyecto no sea satisfactoria de modo que sea necesario asignar recursos adicionales para reducir la duración con el mínimo costo.

En síntesis, el problema de la *asignación de recursos* en un proyecto se puede clasificar en tres categorías:

1. Problemas de Costo-Duración
2. Nivelación de la demanda de recursos
3. Programación de proyectos con recursos limitados

Los problemas *costo-duración* surgen cuando se quiere acelerar algunas actividades del proyecto, asignándoles más recursos, aun a expensas de incrementar su costo. En estos casos hay diferentes combinaciones de duraciones de las actividades que proporcionan la duración deseada del proyecto. Sin embargo, cada combinación puede tener asociado un costo del proyecto distinto. Los procedimientos *costo-duración* están directamente relacionados con determinar la secuenciación de menor costo para una duración del proyecto prefijada, habitualmente bajo el supuesto de recursos ilimitados. Este problema se resuelve mediante un modelo de programación lineal paramétrica.

El segundo problema, la *nivelación* de la demanda de *recursos*, surge cuando existen recursos suficientes para secuenciar todas las actividades concurrentes que compiten por los mismos; sin embargo, se desea que el consumo de los recursos se produzca a una determinada tasa constante. El objetivo del proceso de nivelación es suavizar lo máximo posible el diagrama de carga a lo largo de la duración del proyecto. Esto se llevará a cabo reprogramando las actividades

considerando la holgura disponible de modo que se obtengan diagramas más equilibrados. En algunos casos de nivelación de recursos existe un límite de recursos disponibles y éstos se nivelan lo máximo posible alrededor de dicho umbral. Hay muchas variaciones de esta aproximación, sin embargo, la característica común de todas ellas y, en definitiva, lo que diferencia la nivelación de la programación de proyectos con recursos limitados es que en este primer caso no se permite incrementar la duración del proyecto respecto a la calculada originalmente con el método del camino crítico.

Por último, se está ante un problema de programación de proyectos con recursos limitados cuando existen cantidades fijas de recursos disponibles en cada período de la duración del proyecto. Si las cantidades disponibles no son suficientes para satisfacer la demanda de las actividades concurrentes, es necesario tomar decisiones acerca de su programación, cuyo resultado suele implicar un aumento en la duración del proyecto. Éste es el problema que tiene un mayor interés práctico.

Las técnicas heurísticas tradicionales que se utilizan para la nivelación de recursos en la programación y evaluación de proyectos⁹, presentan el inconveniente de no tener en cuenta todas las posibles consideraciones. La mayoría se basan en los diagramas PERT¹⁰ o ROY¹¹ en los que las únicas precedencias posibles entre las actividades son *final-comienzo*, que en muchos proyectos es insuficiente.

Otro problema detectado es que, en estas técnicas, las actividades sólo tienen una duración posible, excepto en el CPM¹². Esto no es real, ya que una misma actividad puede ser realizada en distintos periodos de tiempo, lo que implicaría una asignación de recursos en cada caso, no teniendo que ser lineal la relación entre la duración de la actividad y recursos necesarios para finalizarla. No obstante que CPM si tiene en cuenta distintas duraciones, sólo tiene en cuenta el

⁹ Grajales et al., 2017

¹⁰ Program Evaluation Review Technique

¹¹ Desarrollado en Europa entre 1958 y 1961 por un grupo de ingenieros encabezados por B. Roy y M. Simonard. Similar a los métodos PERT y CPM, pero permite establecer las redes sin utilizar actividades ficticias e iniciar los cálculos sin la construcción de la red.

¹² Critical Path Method.

costo derivado en cada una de las opciones, pero no los recursos necesarios para cada una de las duraciones, con lo que el estudio que realiza es solo económico.

La programación del proyecto determinará las fechas de inicio y fin de cada actividad, así como la reasignación de los recursos necesarios para cada actividad, de manera que se pueda llevar a cabo el plan con éxito. Se basará en la información del diagrama de red del proyecto, la estimación de la duración de las actividades, las restricciones existentes en el proyecto, los supuestos asumidos en el mismo, las restricciones (fecha de terminación impuesta, hitos en el proyecto) y las necesidades de recursos previstos para cada actividad.

De frente a una definición de la programación habrá que considerar también los siguientes factores:

- a) Elección de las unidades para los recursos: no siempre será posible decir que una actividad necesita de un número entero de días de trabajo para un trabajador, sino que pueden necesitarse unidades más pequeñas, como las horas de trabajo/hombre.
- b) Especificar si el uso de los recursos es constante durante una actividad, o si se deben usar primero unos recursos y luego otros.
- c) Se debe tener en cuenta la eficiencia de los trabajadores empleados, ya que se pueden tener 10 trabajadores, pero que realizan el trabajo sólo de 9.
- d) La disponibilidad de sobretiempo en un proyecto, como trabajar fines de semana, puede ayudar en situaciones de retrasos.
- e) Las vacaciones de personal.

4.2 Programación con recursos limitados

En las técnicas de programación existe la hipótesis implícita de que los distintos recursos necesarios para desarrollar las actividades existen en cantidades ilimitadas. Obviamente, se trata de un supuesto muy fuerte y en muchos casos poco realista. Esta situación obliga a considerar dos problemas asociados a los recursos, el problema de *asignación* y el problema de *nivelación* de recursos limitados.

Dentro de la amplia variedad de los problemas de programación, destaca el problema de programación de proyectos con recursos limitados. Dicho problema considera un conjunto de actividades relacionadas entre si mediante relaciones de precedencia, un conjunto de recursos con un límite en su disponibilidad y un conjunto de medidas de desempeño. El objetivo es obtener la mejor manera de asignar dichos recursos a las actividades, de tal manera que se optimice la medida de desempeño.

4.3 Nivelación de recursos

Una vez que se haya determinado la duración y costo total de un proyecto, mediante el método que fuere, es posible aún realizar ajustes en el programa mediante la asignación de recursos al proyecto en conjunto.

Analizando la red de un proyecto, después de obtener la duración y costo deseados, puede observarse que existen actividades que no se encuentran en la *ruta crítica*, que pueden iniciarse en fechas más tardías, es decir, actividades con *holgura*. Pues bien, si se toma la decisión de iniciar estas actividades en fechas posteriores a las más tempranas, la demanda de los recursos se puede reducir en las distintas fechas del proyecto. Generalmente a este procedimiento para realizar los ajustes mencionados se le llama *Nivelación de Recursos*.

Esta nivelación de recursos puede ser favorable para la administración de todo tipo de recursos, dentro de los mismos se tienen, el de mano de obra, equipo y entrega de material. En cuanto a la nivelación de recursos, este procedimiento es útil, pues se puede tener el menor número de empleados para la realización de la obra; refiriéndose al equipo, sirven para mantener las demandas a nivel mínimo; en el caso del material, es posible distribuir la entrega del mismo, de tal manera que no se tenga la necesidad de almacenarlo ya que es común que en zonas urbanas el espacio destinado para ello es muy reducido y no lo permita, además de que se evitan posibles deterioros.

Esta nivelación de recursos se aplica a todo tipo de proyectos, no importando el tipo de red que se utilice. Sin embargo, la red sí influye en los resultados de los

tiempos para la nivelación, que se puedan proporcionar; en el presente caso, se propone utilizar el *Algoritmo de Burgess-Killebrew*.

4.4 Nivelación de recursos. Algoritmo de Burgess-Killebrew

1. Elegir la actividad no crítica con mayor o más avanzado tiempo próximo de terminación (TPT). Retrasar esta actividad de unidad en unidad de tiempo hasta lo que permita su holgura total, eligiendo como fecha de inicio aquella que dé menor valor para la suma de los cuadrados de las cargas diarias.
2. Repetir el paso 1 una por una para las actividades no críticas con el mayor tiempo próximo de terminación, pero que no hayan sido analizadas hasta el momento, hasta que todas las actividades no críticas hayan sido analizadas. En caso de empate, tomar primero la que tenga mayor holgura. (atención con las relaciones de precedencia al entrar en retrasos en la parte de la holgura total que no es holgura libre).
3. Repetir los pasos 1 y 2 hasta que no haya ninguna disminución en los cuadrados de las cargas.

En la figura 4.1 se muestra el procedimiento para efectuar una nivelación de recursos con el algoritmo de Burgess-Killebrew, que necesariamente, como en la aplicación de cualquier herramienta de la administración de proyectos, comienza con la WBS. Si está bien elaborada es consistente con los objetivos del proyecto y establecerá las actividades necesarias, así como las actividades a programar; de ahí, su importancia en la búsqueda del éxito en la realidad.

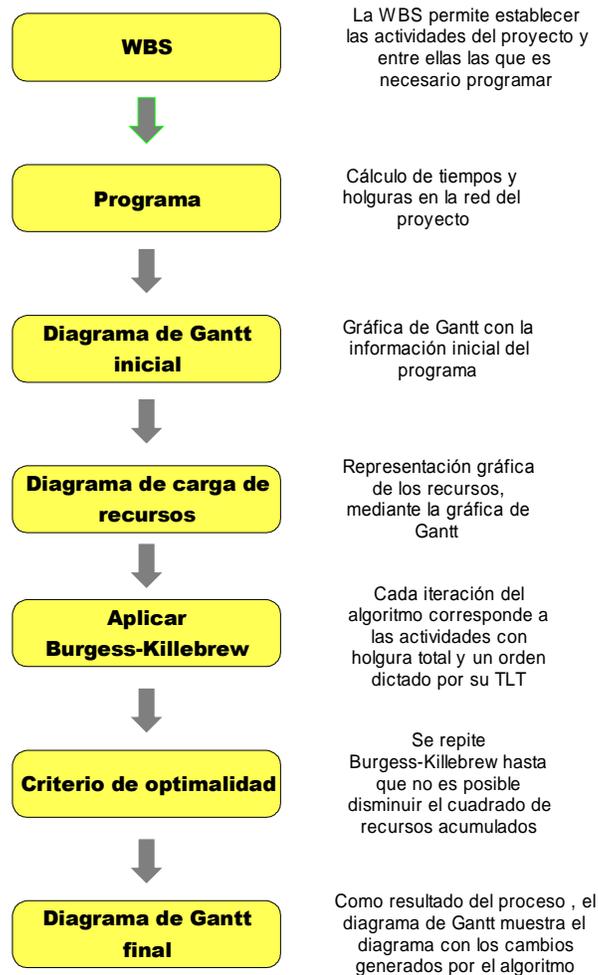


Figura 4.1 Proceso de la nivelación de recursos

Ejemplo de nivelación de recursos

La siguiente información corresponde a un proyecto en particular. En la tabla se muestran actividades, precedencias y los recursos asociados a cada actividad. El objetivo es nivelar los recursos, hasta donde es posible; es decir, *aplanar* el *diagrama de carga de recursos* utilizando el algoritmo de Burgess-Killebrew.

Tabla 4.1 Información de entrada del proyecto

Actividad	Precedencia	Duración, días	Recurso de mano de obra/día
A	-	3	3
B		5	2
C	A	6	3
D	A	2	4
E	D	3	2
F	D	3	1
G	B	4	3
H	F, G	5	2
I	C	4	3
J	E, I	2	4
K	J	3	5

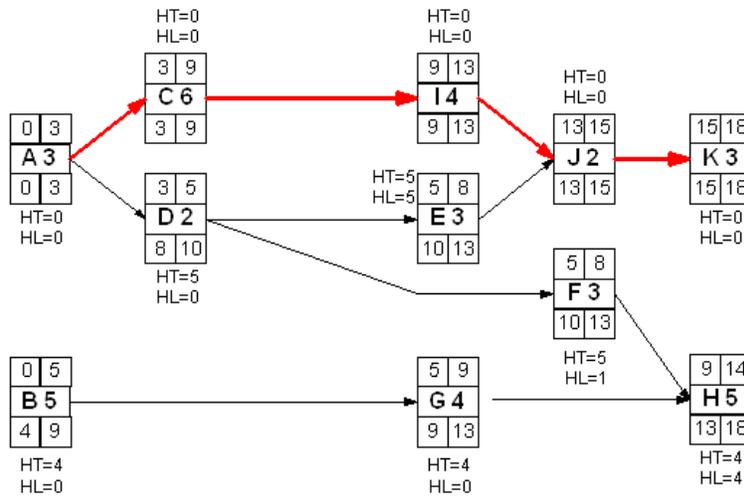


Figura 4.2 Red del proyecto con tiempos y holguras

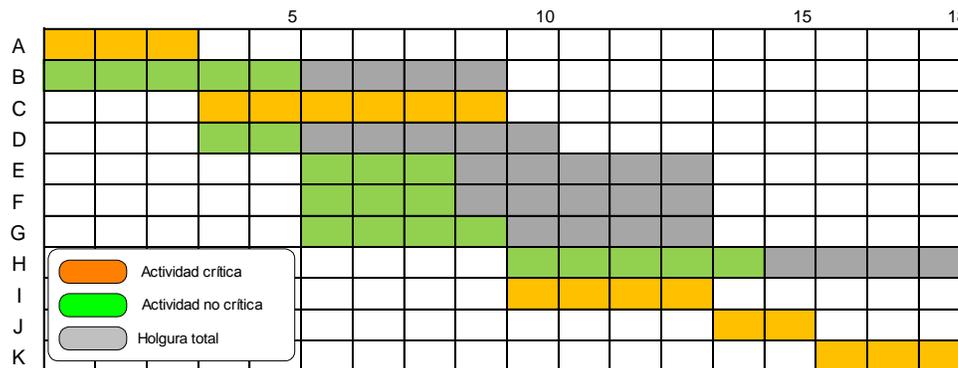


Figura 4.3 Diagrama de Gantt inicial

La figura 4.4 es el resultado de agregar los recursos indicados en la tabla 4.1 en el diagrama de Gantt que resulta de programar el proyecto (Figuras 4.2 y 4.3). Los tres renglones de la parte inferior se refieren a los cálculos necesarios para iniciar el algoritmo de Burgess-Killebrew; el primer renglón es simplemente la suma de los recursos por día, el segundo es elevar al cuadrado este recurso por día y finalmente el tercero corresponde a la suma de recursos acumulados por día. La razón de utilizar el cuadrado de los recursos es con la idea de hacer más sensible cualquier cambio que se produzca al desarrollar el algoritmo. Se enfatiza que el número clave es el último del tercer renglón (743), ya que es el número que se debe disminuir para optimizar la nivelación de recursos.

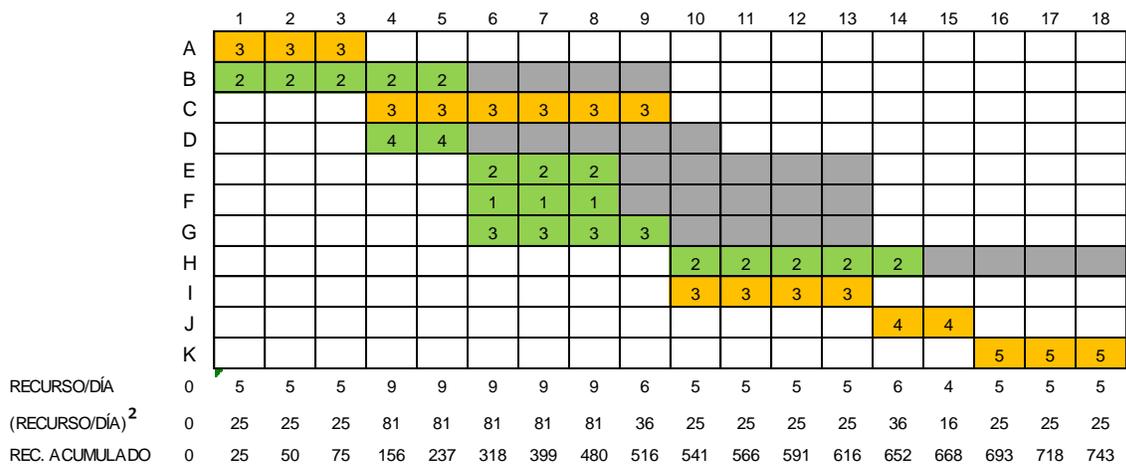


Figura 4.4 Diagrama de Gantt con recursos

La figura 4.5, llamada *diagrama de carga de los recursos*, es muy representativa de la variación de la distribución de recursos, ya que lo *ideal* sería que esta distribución fuera tan aplanada como la recta mostrada en el valor 6.17. El algoritmo intenta eliminar picos o variaciones, o aplanar lo más que sea posible el diagrama de carga.

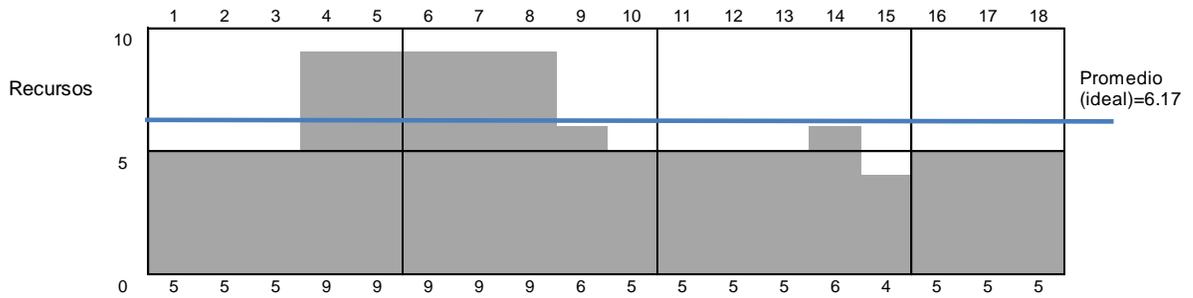


Figura 4.5 Diagrama de carga de los recursos, inicial

De la figura 4.4 se puede inferir el orden que se debe seguir en la nivelación de los recursos; o sea, las actividades no críticas que tienen el mayor *tiempo lejano de terminación*:

$$H \rightarrow G \rightarrow F \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow B$$

La secuencia puede repetirse después de terminada una de ellas. En el ejemplo, se realizan los siguientes movimientos:

Tabla 4.2 Desarrollo de la nivelación de recursos

Iteración	Secuencia	Inicial: 743			
		Aumenta	Disminuye	Disminuye	Disminuye
1	H	747			
	G		737	731	725
	F	727			
	E	733			
	D	733			
	B	737			
2	H		717	713	709
	G	721			
	F	711			
	E	717			
	D	717			
	B	721			
3	H	717			
	G	721			
	F	711			
	E	717			
	D	717			
	B	721			

4.5 Resultados de la nivelación de recursos

En la figura 4.6 se observan los cambios en el diagrama de Gantt debido a la nivelación de recursos con Burgess-Killebrew; una disminución en la holgura total de actividades en que se presentó una disminución en el cuadrado de los recursos, se conserva el total de recursos por día y se conserva el tiempo que dura el proyecto.

En la figura 4.7 se refleja el *aplanado* del diagrama de carga de los recursos como resultado de la aplicación del algoritmo.

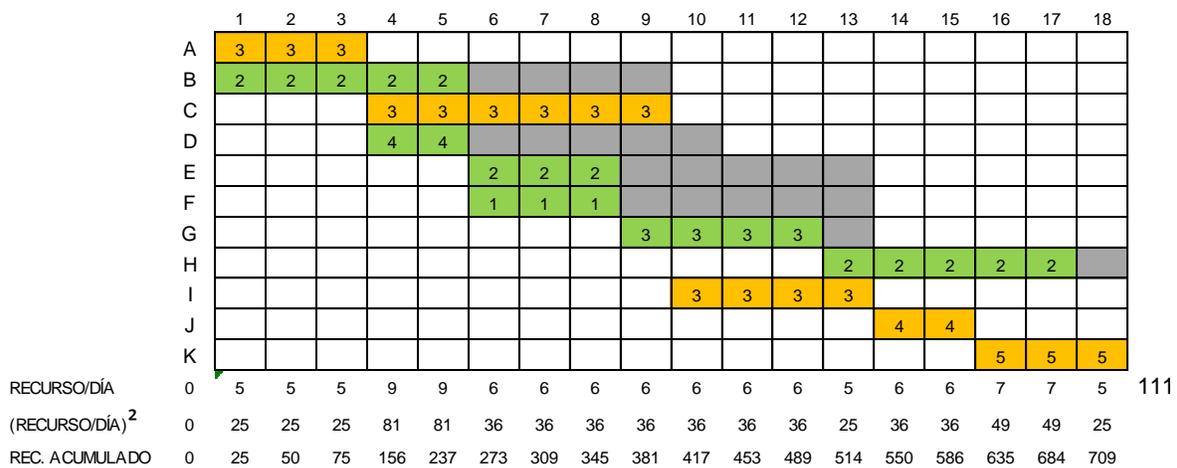


Figura 4.6 Diagrama de Gantt final

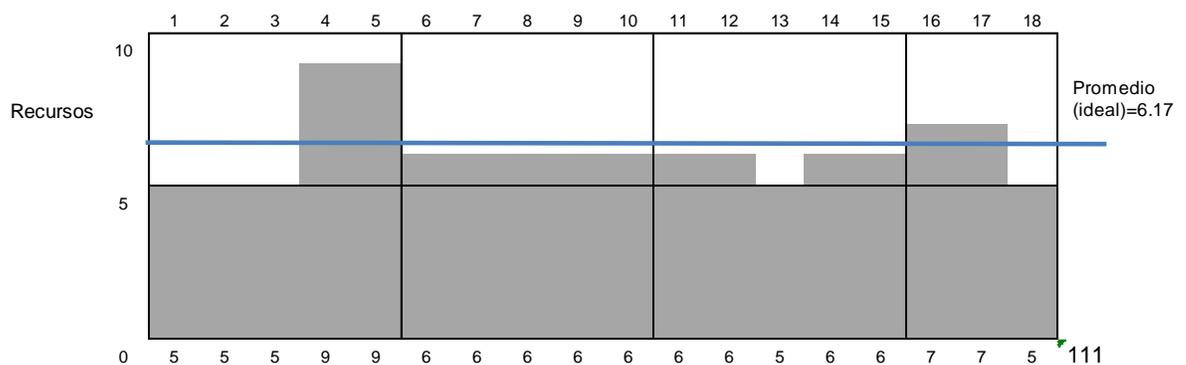


Figura 4.7 Diagrama de carga de los recursos, final

Los cambios que presenta la red se presentan en la figura 4.8, con cambios en algunos valores de holguras y con la misma duración del proyecto.

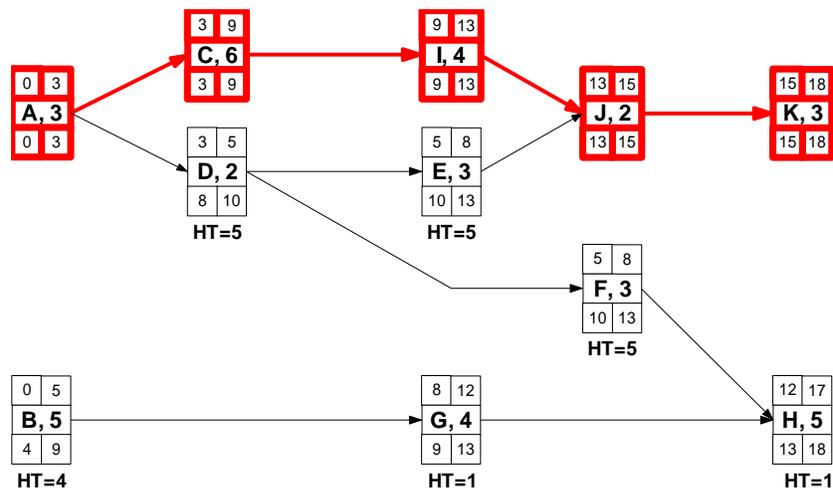


Figura 4.8 Red final del programa

La gráfica de la figura 4.9 también es un elemento de control del proyecto ya que el espacio entre las curvas, llamada *área de recursos factibles* es una medida de la tolerancia y la curva inferior representa a la eficiencia en la distribución de los recursos.

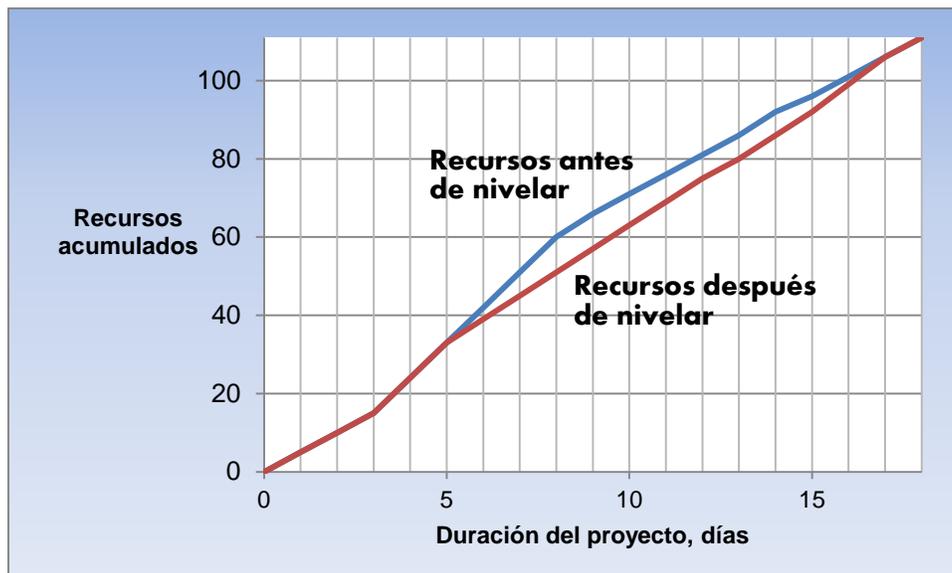


Figura 4.9 Gráfica de recursos acumulados

5. MAQUINARIA DE CONSTRUCCIÓN

El equipo para ejecutar trabajos de construcción es una fuerza vital para las operaciones competitivas modernas, particularmente para la llamada construcción pesada. La planificación de la producción para un proyecto dado, en algunos casos se enfoca hacia la productividad que puede alcanzar los equipos. Además, la planificación financiera de una empresa constructora siempre comienza a partir de la inversión en equipos, ya que esta constituye una de las mayores inversiones de capital en el largo plazo.

Al planear la adquisición de equipos para la construcción, un factor determinante, es el costo total que representa y que comprende no solamente la inversión original, sino también el costo de operación, reparación y conservación del equipo que conforman lo que se conoce como inversión total de un equipo.

5.1 Clasificación

Maquinaria pesada. Maquinaria de grandes proporciones geométricas comparado con vehículos livianos, tienen peso y volumetría considerada; requiere de un operador capacitado porque varía la operación según la maquinaria; se utiliza en movimientos de tierra de grandes obras de ingeniería civil y en obras de minería a cielo abierto. Ejemplos grúas, excavadoras, tractor, etc.

Maquinaria semi-pesada. Son maquinarias de tamaño mediano utilizados generalmente en la construcción, por ejemplo: camión volqueta, carros cisternas o aguateros, camiones escalera. El peso y volumen de estas unidades es mediano.

Equipo liviano. Pueden ser maquinas pequeñas o equipos especializados; como: compresoras, bombas de agua, vibradoras, cortadoras de acero, rompe pavimentos, montacargas, etc.

En la tabla 5.1 se muestran algunas de las maquinas que se usan con mayor frecuencia en la construcción, así como sus principales características y rendimientos, este último varía dependiendo de las condiciones en que se encuentre el equipo, del tipo de trabajo que se realice y del tipo de terreno.

Tabla 5.1 Maquinaria más usada en construcción

Máquina	Tipo de trabajo	Rendimiento
 <p>Excavadora 320C</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Excavación de zanjas ✓ Excavación en bancos de préstamo o de material ✓ Relleno 	<p>Aproximadamente de 200 m³/día a 400 m³/día dependiendo del trabajo que realice.</p>
 <p>Retroexcavadora 416E</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Limpieza y nivelación ✓ Desmonte, carga y descarga de materiales ✓ Escarificar ✓ Excavación 	<p>Aproximadamente 96 m³/día.</p>
 <p>Tractor de orugas D4KXL</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Excavación en bancos de préstamo ✓ Relleno ✓ Transporte o movimiento de tierra 	<p>Aproximadamente 50 m³/día.</p>
 <p>Tractor de orugas D7R II</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Grandes excavaciones a cielo abierto ✓ Limpia y despalme ✓ Apertura de vías ✓ Desmonte y deshierbe 	<p>Aproximadamente 1200 m³/día.</p>
 <p>Motoconformadora 120K</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nivelar terrenos ✓ Refinar taludes 	<p>Aproximadamente 640 m³/día.</p>
 <p>Compactador CB34B</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cambiar densidad del suelo y aplanar 	<p>Aproximadamente 200 m³/hora</p>

5.2 Criterios de selección de la maquinaria

Un viejo refrán popular reza *de acuerdo al batracio es el pétreo*, destacando la importancia de tomar en cuenta la naturaleza del problema que se va a atacar, es decir, la elección de la maquinaria que realizará el movimiento de tierras estará básicamente determinada por el tipo de material que se va a remover, las condiciones del sitio y las distancias de acarreo.

El movimiento de tierras es un trabajo cuya finalidad es nivelar el terreno, extrayendo el material que sobra para colocarlo donde falta. La condición ideal de estas dos operaciones se logra cuando los volúmenes de excavación son iguales a los de relleno. Sin embargo, no es fácil llegar a esta situación, debido a que el material excavado no siempre resulta adecuado para usarse en la conformación de terraplenes, lo que provoca un déficit que se compensa con volúmenes obtenidos de bancos de préstamos.

El responsable de la obra debe evaluar detalladamente los volúmenes de obra a ejecutar en corte y relleno, también es de gran importancia el conocimiento de las características del suelo, ya que cada uno ofrecerá diferente resistencia y dificultad a la excavación, al empuje y al transporte; por ejemplo, suelos con un contenido elevado de roca ofrecerán mucha mayor resistencia a ser excavados que una arena suelta. De igual manera la humedad modificará el grado de resistencia, facilitando el deslizamiento de las partículas, hasta convertirlo en una masa pegajosa difícil de extraer y cargar.

De los equipos generales para excavación y compactación según el trabajo que desempeñan más adecuadamente, se encuentran los siguientes:

Bulldozer

Para extracción de raíces o tocones, se usa un tractor con bulldozer o rastrillo, el bulldozer puede derribar árboles y extraer tocones, el rastrillo apila las raíces para incinerarlas. Para desmonte, los tractores equipados con cuchillas pueden trabajar sobre cualquier terreno o cortar cualquier árbol a nivel del suelo.

En despalmes, los bulldozers están limitados por la distancia de empuje o de acarreo, pero son útiles en terrenos pantanosos; las niveladoras están limitadas

por el tipo de terreno y la capacidad de soporte del suelo; pueden ser del tipo arrastrado por tractor para distancias cortas. Las cucharas de arrastre están limitadas por la profundidad del despalme, su capacidad para trabajar con vehículos para transporte y el espacio para maniobrar el cucharón, se utilizan en terrenos pantanosos o inundados que impiden el uso de otro equipo. Las niveladoras conformadoras tienen uso limitado a casos en que el material se puede apilar en su posición final.

Retroexcavadoras

En instalación de tuberías, las retroexcavadoras se utilizan sobre suelo firme cuando la profundidad de la zanja no es excesiva; son buenas para rocas. Las cucharas de arrastre se utilizan para zanjas profundas si es posible aplanar los costados; tienen dificultades para excavar paredes verticales. Los cucharones de almeja se utilizan cuando hay necesidad de revestir los lados y se requiere excavar entre montantes y a grandes profundidades; son ineficaces para la roca. Los bulldozers están limitados a excavaciones de poca profundidad. Las máquinas zanjadoras producen paredes verticales o casi verticales y pueden mantener la alineación y la rasante.

Niveladoras

Para excavación en tierra, las niveladoras arrastradas por tractor están limitadas por la distancia de acarreo y la capacidad de soporte del suelo. Su costo se vuelve excesivo si la distancia de acarreo excede de 300 metros. Las motoniveladoras de dos ejes están limitadas por la distancia de acarreo, terreno y la capacidad de soporte del suelo; en recorridos largos a alta velocidad saltan mucho y derraman la carga.

Motoniveladoras

Las motoniveladoras con dos motores, con llantas neumáticas tienen pocas limitaciones, son útiles en terreno abrupto y donde es necesaria la tracción en todas las ruedas. Los cargadores frontales por lo general descargan en vehículos para transporte; necesitan amplio espacio para trabajo y su alcance es corto. Las palas mecánicas sólo pueden excavar en cortes verticales. Las palas con cuchara de arrastre pueden utilizarse cuando la excavación es profunda y el suelo no tiene

capacidad de soporte; el material debe ser fácil de excavar. Las palas de cuchara de arrastre suelen descargar en unidades para transporte.

Excavadoras

Las excavadoras sobre ruedas ofrecen gran rapidez de excavación y carga de vehículos, para suelos blandos o granulares. Los cargadores con banda móvil tienen alta capacidad de carga de los vehículos de transporte, pero están limitados por el espacio de trabajo y por la capacidad de soporte en el fondo de la excavación. Sus desplazamientos sólo pueden ser esporádicos y a distancias cortas. Una banda ancha permite manejar algunos productos de excavación en roca.

Dragas

Las dragas se utilizan cuando los costos de transporte y excavación son prohibitivos si no se usa equipo flotante. Se debe tener agua disponible para mezclarla con el material excavado y bombearlo por tuberías de descarga. La distancia hasta el sitio para descargar el material de desecho no debe ser muy grande.

Los cucharones de almeja son de baja producción, pero útiles en espacios pequeños o profundos, en donde no hay obstáculos en la parte superior para el giro de la pluma o aguilón. El gradall (excavadora que excava, rellena y empareja), aunque no es un equipo de alta producción, es adecuado para el revestido o acabado final cuando las tolerancias son pequeñas. Las palas o excavadoras hidráulicas son de alta producción, limitadas por la altura de descarga y sólo se utilizan en material fácil de excavar; la altura del corte de excavación no afecta tanto su producción como a una pala mecánica.

Pala mecánica

Para excavaciones en roca, las palas mecánicas pueden mover cualquier tipo de roca quebrada en pedazos que puedan excavar con facilidad. Están limitadas a excavar una cara o frente y se utilizan para alta producción en la carga de vehículos para transporte. Los bulldozer están limitados a movimientos cortos y roca fácil de excavar; en ocasiones, se utilizan para mover rocas y piedras grandes cuando no resulta económico barrenarlas y volarlas.

Cargador frontal

Los cargadores frontales se utilizan en lugar de las palas, por su alta producción, menor costo de operación y facilidad de traslado de un lugar a otro. Las retroexcavadoras se utilizan para excavar cimientos, zanjas y alta producción en terreno abrupto; debe excavar debajo de sus orugas. Las niveladoras son adecuadas para recorridos cortos y roca quebrada a tamaño pequeño, como los esquistos (laja) removido por explosivos, pero el desgaste de llantas es mucho mayor que en otras aplicaciones.

Excavadora hidráulica

Las palas o excavadoras hidráulicas pueden utilizarse en lugar de las palas mecánicas cuando el espacio es reducido; están limitadas por la altura de los vehículos de transporte y a roca fácil de excavar. Los gradall se utilizan en la excavación de zanjas y cimientos, pero el material duro debe ser bien disgregado con explosivos. Los cucharones de almeja son los más adecuados para cimientos profundos o cuando la distancia entre la máquina y el fondo de la excavación impide utilizar otro equipo. La roca debe estar bien disgregada para máxima producción.

Compactador

En trabajos de compactación, los compactadores pata de cabra ofrecen producción a alta velocidad. La compactación depende de la presión unitaria y la velocidad del rodillo. No son adecuados para compactar arena y también están limitados por el espesor de la capa que se va a compactar. Los compactadores con neumáticos se utilizan para suelos granulares, incluso esquistos y roca. Su peso varía desde muy ligero hasta 200 toneladas; pueden ser autopropulsados o remolcados por tractor. La profundidad compactada depende de su peso.

Las compactadoras vibratorias, del tipo remolcado, autopropulsado o manual, también se usan para suelos granulares. La capacidad de compactación depende de la frecuencia y energía de las vibraciones. La profundidad de compactación no es un factor tan importante como con otros tipos de compactadoras. Los rodillos de rejillas, útiles para romper terrones, están limitados a capas delgadas de

material no pegajoso; pueden remolcarse a cualquier velocidad de forma económica y segura.

Los apisonadores neumáticos se utilizan para rellenos sobre tuberías y cimientos y para trabajo en lugares inaccesibles para equipo más grande; suelen ser manuales y tienen un mecanismo neumático de acción alternada. Están limitados para baja producción y capas de poca profundidad. Los compactadores de paletas o pata plana suelen ser autopropulsados y compactan desde el tope hacia abajo; están limitados a capas con un espesor promedio 15 cm en todos los suelos.

Un cargador frontal con llantas neumáticas puede convertirse en este tipo de compactadora si se le cambian las ruedas. Los compactadores de rueda de acero, autopropulsadas, se utilizan cuando se desea una superficie tersa y sellada; están limitadas a capas delgadas.

5.3 Producción horaria de las máquinas

El rendimiento óptimo de una máquina exige el costo más bajo posible por hora y la productividad más alta posible. Comúnmente, el rendimiento de una máquina se mide estableciendo una relación entre la producción por hora y los costos de posesión y operación de la máquina.

La producción se puede expresar en varios tipos de unidades, metros cúbicos desde el banco, metros cúbicos sueltos, metros cúbicos compactos o toneladas por hora. En la mayoría de las aplicaciones de movimiento de tierras, la producción se determina multiplicando la cantidad de material (carga) movido por ciclo por el número de ciclos por hora.

Para calcular la producción por hora de las máquinas se dispone de información que proporcionan los fabricantes, usualmente para condiciones de máxima eficiencia. Sin embargo, la mejor fuente de datos de rendimientos es la estadística de cada empresa, que, de haberla, es la que refleja las condiciones reales de operación.

Factores tales como la relación de peso a potencia, la capacidad, el tipo de transmisión, las velocidades y los costos de operación influyen directamente en la productividad, hay otros factores menos directos, que no es posible mostrarlos en

tablas ni gráficas, como la facilidad de servicio, la disponibilidad de piezas de repuesto y las conveniencias para el operador.

El uso de expresiones, gráficas y manuales, sumado a la experiencia y el buen conocimiento de las condiciones donde se trabaja, permite obtener estimaciones correctas del rendimiento de una máquina.

5.4 Producción horaria de una Excavadora



Figura 5.1 Excavadora hidráulica 320DL Caterpillar

Las excavadoras son máquinas diseñadas para su empleo en la ejecución de trabajos muy diversos, en los que se requieren herramientas diferentes. La gran versatilidad de una retroexcavadora permite intercambiar aditamentos según las necesidades de obra, cucharones de distintos diseños, gancho grúa, electroimán, diente escarificador, martillos, almejas, equipos de manipulación, entre otros.

$$P.H._{exc} = \frac{E \times C \times F_c \times T_e}{F_a \times T_c}$$

Donde:

P. H._{exc} = Producción horaria, en m³/hr

E = Eficiencia calculada según las condiciones que apliquen

C = Capacidad nominal del cucharón, en m³

F_c = Factor de llenado del cucharón

T_s = Tiempo efectivo de trabajo, en minutos efectivos por hora

T_c = Tiempo total de un ciclo, en minutos

F_a = Factor de abundamiento del material excavado

6. PROYECTO. CONSTRUCCIÓN DE BORDO EN EL RÍO CACALUTA, ACAPETAHUA

6.1 Características y ubicación del municipio

Acapetahua se ubica en la zona de transición entre el valle fluvial de 10 ríos: Cintalapa, Doña Maria, Cacaluta, Ulapa, Cilapa (también como Filapa), Madre Vieja, Vado Ancho, Zapote, El Tejar y Chalaca, con la Planicie Costera de Chiapas, específicamente en la porción apical de los abanicos aluviales que por sus características geológicas y geográficas representa una zona altamente vulnerable a inundarse en la planicie y presentar inestabilidad de laderas a partir del cambio de pendiente hacia la sierra, ya sea asociada al sistema regional de fallas Polochic-Motagua o bien por fracturamiento y competencia de la roca.

El Sistema de Fallas Motagua-Polochic se observa en la parte norte del municipio, su traza proviene de Pijijiapan, Mapastepec y se extiende hasta Acacoyagua y Escuintla con rumbo NW70°SE, pasa en el límite norte del municipio, paralela con la carretera federal.

La zona de peligro alto por inundación está asociada a desbordes a lo largo de los ríos Cintalapa, Cacaluta, Cilapa y Chalaca, que varían su cauce de 10 a 150 m de ancho, ubicadas principalmente al norte, noroeste y suroeste de la ciudad, así como en las partes cercanas a los esteros o pampas. Estos eventos se concentran durante los meses de septiembre-octubre que corresponde a la temporada de lluvias.

La ciudad de Acapetahua se localiza en la porción suroeste del estado de Chiapas, en la Región Costa, dentro del municipio que lleva el mismo nombre, éste se localiza entre las coordenadas geográficas 15°16'43" de latitud norte y 92°42'27" de longitud oeste (Figura No. 1.1), la ciudad tiene una extensión territorial de 1.7 km², elevación sobre el nivel del mar de 37 m. A nivel municipal (Figura No. 1.2), se localiza en un marco imaginario entre las siguientes coordenadas geográficas 15°00'06" y 15°23'37" de latitud norte; 92°37'46" y 92°55'52" de longitud oeste, colinda al norte con Acacoyagua, al noroeste con

Mapastepec, al noreste con Escuintla, al sureste con Villa Comaltitlán y al suroeste con el Océano Pacífico.

Acapetahua se localiza en la Llanura Costera del Pacífico, predominando el relieve plano, sus coordenadas geográficas son 15° 17" N y 92° 41" W. Su altitud es de 30 m y sus límites son al noroeste con Acacoyagua y Escuintla, al este con Villa Comaltitlán, al sur con el océano Pacífico y al oeste con Mapastepec.

Acapetahua es uno de los 118 municipios del estado mexicano de Chiapas, su nombre proviene del náhuatl y se interpreta como *Los que Tienen Petates de Carrizo*. Se encuentra al sur del estado, posee una superficie de 358.3 km². Según el II Censo de Población y Vivienda de 2005, el municipio cuenta con 24,165 habitantes y se dedican principalmente al sector primario.



Figura 6.1 Ubicación del municipio de Acapetahua, Chiapas

Tabla 6.1 Información del municipio

Historia	Acapetahua fue fundado entre 1486 y 1502 aproximadamente. En 1524 esta región fue conquistada por Pedro de Alvarado, para 1611 se realizó el primer censo, registrándose 60 habitantes. El 13 de noviembre Chiapas se divide en 12 departamentos y esta región pasó a ser parte de Soconusco. En 1915 se desaparecen los departamentos y se crean 59 municipios, el pueblo quedó como delegación de Escuintla.	
Geografía física	Ubicación	Acapetahua se localiza al sur del estado de Chiapas, entre las coordenadas 15° 17' de latitud norte, y 92° 41' de longitud oeste; a una altura de 30 metros sobre el nivel del mar. El municipio colinda al noroeste con los municipios de Acacoyagua y Escuintla; al este con el municipio de Villa Comaltitlán; al sur con Océano Pacífico; y al oeste con Mapastepec
	Orografía	Su superficie está conformada por zonas planas en su mayoría. Sin embargo, también posee algunas cumbres, como la montaña del zorrillo. El municipio tiene una superficie territorial de 358,3 km ² , lo que representa el 0,47% de la superficie del estado. Los suelos del municipio están conformados por terrenos cuaternarios, predominan el cambisol y el solonchak.
	Hidrografía y clima	Sus recursos hidrológicos los constituyen los ríos: Doña María, Cintalapa, Cacaluta, Ulapa, Chalaca y Juilapa; además posee riachuelos de menor afluencia y algunos manantiales. Su clima es cálido húmedo, las lluvias se registran todo el año.
Flora y fauna	Posee una gran variedad de especies y recursos naturales, sin embargo, la caza y deforestación irracional ha deteriorado la biósfera. Su vegetación se compone principalmente de selva y bosques de encinos y pinos, aunque existen algunas especies como: bejuco, cola de tigre, chilca, cedro, guanacaste, roble, coyol. Su fauna es vasta y diversa, destacan el pato, garza, gato montés, cigüeña, paloma, jabalí, chachalaca, venado, tortuga, lagarto, iguana, boa y cocodrilo.	
Economía	El 60,77% de los habitantes se dedica al sector primario, el 10,92% al sector secundario, el 26,80% al sector terciario y el resto no se especifica. Las principales actividades económicas son la agricultura, la pesca y la ganadería.	
Demografía	Según el II Censo de Población y Vivienda del 2005, el municipio tiene 24,165 habitantes, de los cuales 11,993 son hombres y 12,172 son mujeres; el 0,01% de la población son indígenas.	
Infraestructura	Educación	El 79,07% de la población es alfabeta, de los cuales el 16,38% ha terminado la educación primaria.
	Vivienda	Según el II Censo de Población y Vivienda cuenta con 5,465 viviendas, de las cuales el 76,63% son privadas. Su construcción es generalmente a base de cemento, asbesto, madera, o tabique.
	Medios y Vías de comunicación	Cuenta con correo, fax, internet, señal de radio y televisión, y servicio de radiotelefonía. Cuenta con una red de carreteras rurales de 133,9 km, las cuales comunican las localidades. Hay autobuses públicos.
	Servicios	El municipio cuenta con servicios de agua potable, energía eléctrica, alcantarillado, alumbrado público, seguridad pública y tránsito, centros recreativos y deportivos. En lo que concierne a servicios básicos, el 46,42% de los habitantes disponen de agua potable, el 65,32% de alcantarillado y el 90,06% de energía eléctrica.

6.2 Descripción del Proyecto

Este proyecto tiene como características generales la **restitución y sobreelevación de bordo con protecciones dispersas en la margen izquierda del Rio Cacaluta**, con una longitud aproximada de 2.7 km en su segunda etapa, además de la construcción de una corona con un ancho de 4.5 m que permitirá el paso vehicular.

El objetivo de la construcción de dicho bordo como infraestructura hidráulica es para minimizar riesgos ante inundación y con ello proteger los bienes inmuebles, así como el desarrollo de las actividades económicas y proteger la integridad física de los pobladores.

En la figura 6.2 se muestran los elementos principales del bordo.

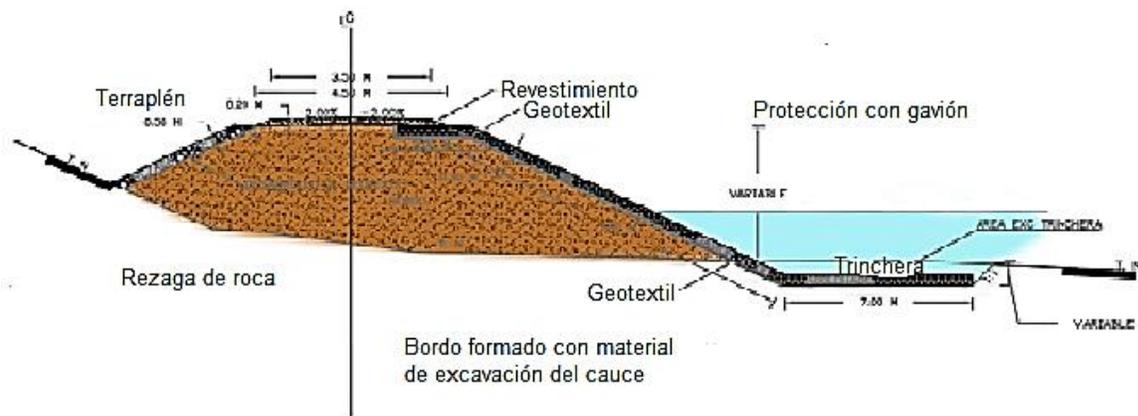


Figura 6.2 Sección tipo del bordo



6.3 Localización

La obra está situada en el Río Cacaluta, a la altura de la colonia Veinte de Abril, en el municipio de Acapetahua, Chiapas.



Figura 6.3 Ubicación del Río Cacaluta y la población de Acapetahua

6.4 Características de la excavadora 320CL



Figura 6.4 Excavadora 320CL

Son máquinas que se fabrican para ejecutar excavaciones en diferentes tipos de suelos, siempre que éstos no tengan un contenido elevado de rocas, se utilizan

para excavación contra frentes de ataque, para el movimiento de tierras, la apertura de zanjas, excavación de bancos de agregados, en el montaje de tuberías de alcantarillas, etc.

Es una maquina dotada de una tornamesa que le permite girar horizontalmente hasta un ángulo de 360°, realiza la excavación haciendo girar el cucharón hacia atrás y hacia arriba en un plano vertical, y en cada operación a pluma sube y baja. Para obtener un mayor rendimiento las alturas de corte deben ser superior a 1.50 m. La altura de excavación depende de la capacidad del cucharón y la longitud de la pluma.

Están equipadas con diferentes tipos de cucharones de acuerdo con el trabajo que van a realizar. Como regla general se utilizan cucharones anchos en suelos fáciles de excavar y angostos para terrenos más duros. Los de menor radio de giro tienen más fuerza de levante que los de radio largo. Al elegir un cucharón para suelos duros es aconsejable adquirir el más angosto entre los de menor radio de giro.

Las dimensiones de la excavadora 320CL se referencian en la figura 6.5 y los números se refieren a las dimensiones que se mencionan en la tabla 6.2:

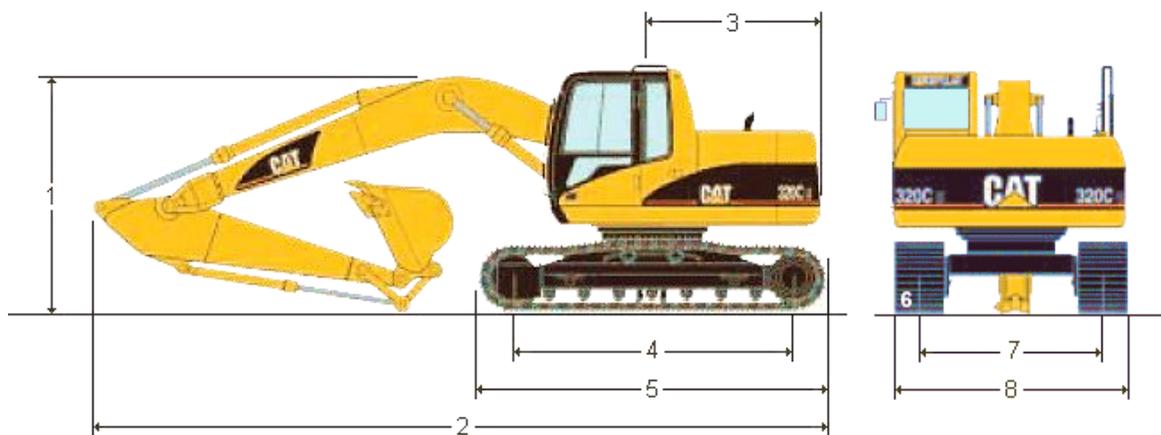


Figura 6.5 Referencias para las dimensiones de la excavadora 320CL

Tabla 6.2 Dimensiones de la excavadora 320CL

Referencia		Dimensión, mm
1	Altura de embarque	3430
2	Longitud de embarque	9420
3	Radio de giro de la cola	2750
4	Longitud entre el centro de los rodillos	3265
5	Longitud de la cadena	4075
6	Despejo sobre el suelo	475
7	Entrevía	2200
8	Ancho de transporte	3000
	Peso total	22680 kg

6.5 Información del proyecto

Tabla 6.3 Costos del proyecto

Descripción	Unidad	Feb-2015	Mar-2015	Abr-2015	May-2015	Jun-2015	Jul-2015	Ago-2015	Total
Río Cacaluta 2da. Etapa									
TRABAJOS PRELIMINARES.									
Desmonte, deshierbe y/o desenraice de bancos de préstamo y zonas de construcción.	Ha	\$85,458.36 6.0000							\$85,458.36 6.00
Limpia y despalle en áreas destinadas para desplante de terraplenes.	M3	\$37,031.55 3,119.7600	\$48,432.45 4,080.2400						\$85,464.00 7,200.00
Excavaciones a cielo abierto en material común excepto roca, para formación de la trinchera.	M3			\$3,124.74 62.6200	\$48,433.44 970.6100	\$46,871.07 939.3000	\$48,433.44 970.6100	\$7,827.31 156.8600	\$154,690.00 3,100.00
Excavaciones en cualquier material, excepto roca fija.	M3	\$3,667.49 83.7900	\$18,935.82 432.6210	\$18,327.79 418.7295	\$18,935.82 432.6210	\$18,327.79 418.7295	\$18,318.14 418.5090		\$96,512.85 2,205.00
Relleno de trinchera con material producto de excavación.	M3				\$7,633.65 159.8000	\$7,387.63 154.6500	\$7,633.65 159.8000	\$1,230.07 25.7500	\$23,885.00 500.00
Formación de bordos y terraplenes compactados con material proveniente de excavación del cauce.	M3	\$70,948.02 1,817.3160	\$440,506.36 11,283.4620	\$426,361.66 10,921.1490	\$440,506.36 11,283.4620	\$426,361.66 10,921.1490	\$440,506.34 11,283.4620		\$2,245,190.40 57,510.00
Formación de bordos y terraplenes compactados con material proveniente de excavación del cauce, con acarreo libre de hasta 50 metros.	M3	\$12,439.22 239.4000	\$128,451.36 2,472.1200	\$124,326.77 2,392.7400	\$128,451.36 2,472.1200	\$124,326.77 2,392.7400	\$128,451.36 2,472.1200	\$8,249.16 158.7600	\$654,696.00 12,600.00
Formación de bordos y terraplenes compactados con material proveniente de excavación del cauce, con acarreo libre de hasta 100 metros.	M3	\$4,969.19 79.3800	\$154,754.71 2,472.1200	\$149,785.52 2,392.7400	\$154,754.71 2,472.1200	\$149,785.52 2,392.7400	\$154,754.71 2,472.1200	\$19,955.64 318.7800	\$788,760.00 12,600.00
Obtención y colocación de revestimiento para la corona y talud seco de bordos. En corona	M3						\$76,224.45 1,538.3340	\$28,078.30 566.6660	\$104,302.75 2,105.00
Acarreos en el primer kilómetro de material para formación de bordos, con material proveniente de excavación del cauce.	M3	\$62,980.39 1,669.6815	\$390,111.52 10,342.2990	\$377,474.68 10,007.2820	\$390,111.52 10,342.2990	\$377,474.68 10,007.2820	\$390,111.52 10,342.2990	\$49,935.89 1,323.8575	\$2,038,200.20 54,035.00
Acarreos en el primer kilómetro de material para revestimiento de la corona y talud seco del bordo.	M3						\$58,025.96 1,538.3340	\$21,374.64 566.6660	\$79,400.60 2,105.00
Acarreos en los kilómetros subsiguientes al primero de material para revestimiento.	M3-Km						\$504,512.02 27,690.0120	\$185,843.78 10,199.9880	\$690,355.80 37,890.00
Acarreos en el primer kilómetro de material de rezaga de roca en talud y trinchera.	M3						\$46,930.35 1,120.0560	\$23,461.65 559.9440	\$70,392.00 1,680.00
Acarreos en los kilómetros subsiguientes al primero de rezaga.	M3-Km						\$469,303.46 22,401.1200	\$234,616.54 11,198.8800	\$703,920.00 33,600.00
Acarreos en el primer kilómetro de material para relleno de gaviones.	M3				\$53,410.53 1,227.2640	\$51,689.23 1,187.7120	\$53,410.53 1,227.2640	\$8,606.51 197.7600	\$167,116.80 3,840.00
Acarreos en los kilómetros subsiguientes al primero de material para gaviones.	M3-Km				\$533,859.84 24,545.2800	\$516,654.72 23,754.2400	\$533,859.84 24,545.2800	\$86,025.60 3,955.2000	\$1,670,400.00 76,800.00
Protección de taludes y laderas en cauces, con rezaga acomodada en talud y trinchera de banco de pepena.	M3						\$69,297.86 1,120.0560	\$34,643.74 559.9440	\$103,941.60 1,680.00
Suministro, colocación y relleno de gaviones con boleos o roca. Deben ser rectangulares en malla hexagonal de	M3				\$1,275,102.75 1,227.2640	\$1,234,009.01 1,187.7120	\$1,275,102.75 1,227.2640	\$205,468.69 197.7600	\$3,989,683.20 3,840.00
alta resistencia, a triple torsión con abertura tipo 8x10, diámetro del alambre de 2.7 mm fuertemente galvanizado, reforzado en las aristas con alambre de 3.4 mm, incluye alambre de amarre para cosido y tensores. gavión de 0.3 x 1.0 x 3.0									
Suministro y colocación de geotextil no tejido de fibra de polipropileno o poliéster de 500 grs / m2.	M2			\$7,894.58 131.8400	\$244,961.89 4,090.8800	\$237,067.32 3,959.0400	\$244,961.89 4,090.8800	\$31,578.32 527.3600	\$766,464.00 12,800.00

Tabla 6.4 CANTIDADES DE OBRA, RENDIMIENTOS Y COSTO DIRECTO

Actividades	Cantidad de obra	Rendimiento	Duración, semanas	Costo Directo	Equipo
Limpia y despalme	14,400 M3	1,200 m3/día	2	\$ 137,922.66	Tractor DK4L
Acarreo para bordos	54,035 M3	1,200 m3/día	10	\$ 2,343,181.76	Excavadora 320D
Acarreo para gaviones	3,840 M3	240 m3/día	4	\$ 1,482,624.00	Excavadora 320D
Formación de bordos	87210 M3	1,200 m3/día	15	\$ 2,967,183.00	Excavadora 320D
Sum., col. Y relleno de gaviones	3,840 m3	96 m3/día	8	\$ 3,218,803.20	Excavadora 320D
Colocación de geotextil	12,800 M2	400 M2/día	7	\$ 618,240.00	cuadrilla
Excavación de trinchera	3,100 m3	200 m3/día	3	\$ 749,430.00	Excavadora 320D
Relleno de trinchera	500 m3	50 m3/día	2	\$ 19,270.00	Excavadora 320D
Protección de talud seco	2,105 m3	210 m3/día	2	\$ 84,136.85	Excavadora 320D
Prot. de taludes, laderas y corona	1,680 m3	80 m3/día	4	\$ 167,984.65	Excavadora 320D

Costo directo total \$ 11,788,776.12

Costo indirecto total \$ 2,659,547.89

Costo total de la obra \$ 14,448,324.01

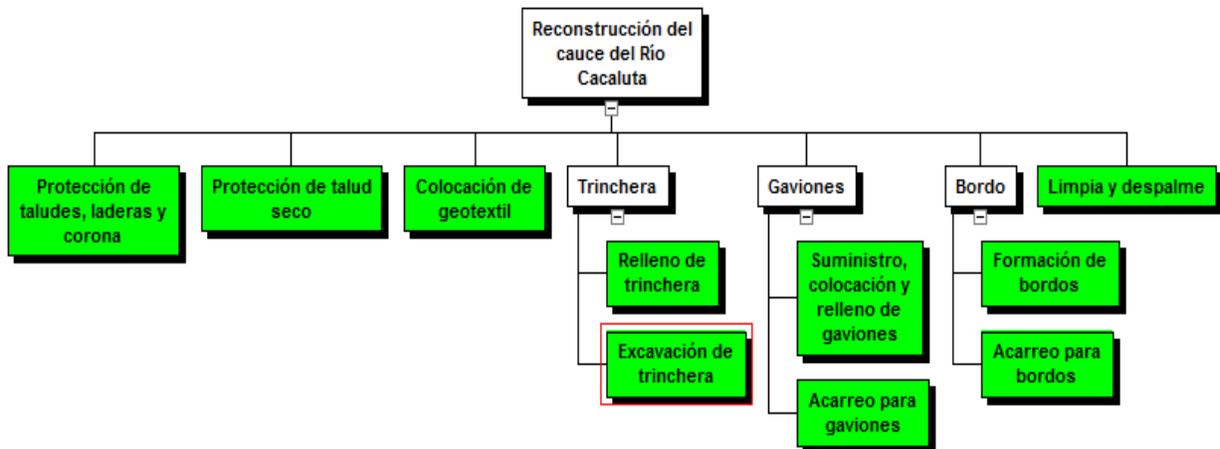


Figura 6.4 WBS asociada al proyecto (las actividades en color deben programarse)

Tabla 6.4 Información para programar con PDM

Código	Descripción	Duración, semanas	Precedencia	Relación	Retraso
A	Limpia y despalme	2	-	-	-
B	Acarreo para bordos	10	A	FS	0
C	Acarreo para gaviones	4		FS	2
D	Formación de bordos	15	B	SS	1
E	Sum., col. Y relleno de gaviones	8	C	SS	2
F	Colocación de geotextil	7	D	SS	5
G	Excavación de trinchera	3		FS	0
H	Relleno de trinchera	2	G	FS	0
I	Protección de talud seco	2	F	FS	0
J	Prot. de taludes, laderas y corona	4	E	FS	0

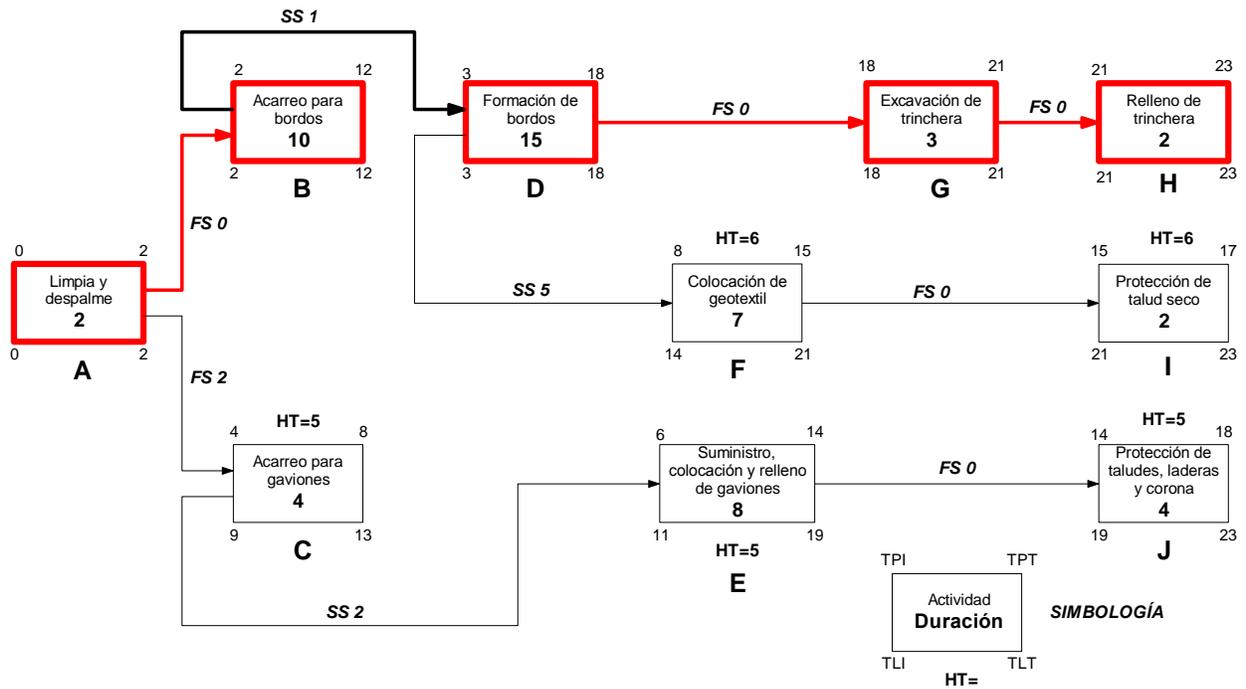


Figura 6.5 Red del proyecto



a) Formación de bordo



b) Excavación y relleno de trinchera

c) Relleno de gaviones



d) Colocación de geotextil

e) Protección de talud seco

Figura 6.6 Aspectos de la obra del Río Cacaluta

Tabla 6.5 Algoritmo de Burgess-Killebrew

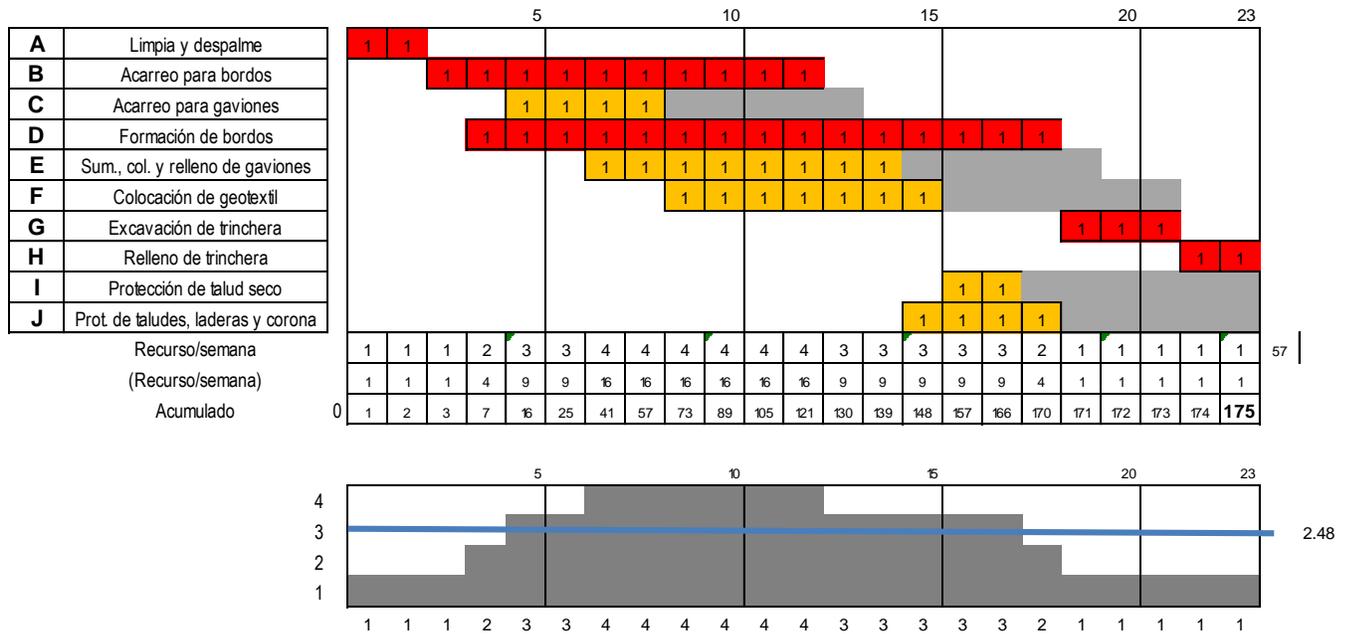


Figura 6.6 Diagrama inicial de carga del recurso de maquinaria

La secuencia de aplicación es: **J → I → F → E → C**

Tabla 6.5 Desarrollo de la nivelación de recursos

Iteración	Secuencia	Inicial: 175				
		Aumenta	Disminuye	Disminuye	Disminuye	Disminuye
1	J		173	171	169	
	I	171	173	171	169	
	F		167	165	163	161
	E		159			
	C	161				
2	J		157	155		
	I	155				
	F	155				
	E		153			
	C	155				
3	J	Cancelada				
	I	153				
	F	153				
	E	157				
	C	157				

6.6 Análisis de resultados

Tabla 5.5. Comparación de costos

	Costo antes de nivelación	Costo de nivelación
Costo directo	\$ 11,788,776.12	\$ 11,788,776.12
Costo indirecto	\$ 2,659,547.89	\$ 2,659,547.89
Costo/renta de equipo	\$ 1,292,000.00	\$ 1,088,000.00
Costo total	\$ 15,740,324.01	\$ 15,536,324.01

Gráficamente también se puede observar un mejor manejo y distribución de los cómo se observa en la figura 5.15.

Una mala nivelación de recursos en un proyecto puede hacer tanto daño como una mala identificación del camino crítico ya que puede crear un nuevo camino crítico y las consecuencias se ven reflejadas en costos y en retrasos que difícilmente se puedan recuperar. Además, suele ser una fuente de conflictos continua tanto con los subcontratistas afectados como con el personal propio y genera una sensación de desencanto (la gente piensa que los jefes no saben lo que se está haciendo, ni hacia dónde se quiere ir) en todos los integrantes del proyecto porque las cosas que se improvisan tienen tendencia a cumplir la ley de Murphy¹³.

¹³ Murphy, Edward A. "Si algo puede ir mal, va a ir mal".

CONCLUSIONES

Es posible observar que el manejo de una adecuada Administración de Proyectos continúa siendo una de las medidas que las organizaciones toman en cuenta para mejorar los resultados obtenidos de sus procesos de desarrollo, sin embargo estas actividades son considerablemente distintas a las prácticas de hace más de diez años.

Se puede ver que las necesidades de manejo de comunicación e interacción de todos los actores involucrados con un proyecto han cambiado a tal grado, que se requieren medios de colaboración entre los desarrolladores que antes no se tenían considerados. Remarcable es la situación de desarrollar múltiples proyectos a la vez, integrar personal de empresas externas, e incluso considerar el trabajar a distancia. Todo esto debe lograrse sin descuidar la gestión de todos los recursos y otros aspectos relacionados con cada proyecto en específico. Esta tarea es difícil y es por ello por lo que el apoyo de Tecnologías es inminentemente necesario. Por otra parte, la relación que esta disciplina mantiene con otras nuevas áreas de conocimiento amplía el conjunto de herramientas y marcos de referencia sobre los que se complementa, lo que puede observarse en el conjunto de aplicaciones de software que son incorporadas con este objetivo. Dichas aplicaciones son variadas y acordes a las características de la metodología de la organización. Finalmente, es posible observar que la mejora en las prácticas de la administración de proyectos de desarrollo de software, dadas las características de la competitividad actual, solo puede lograrse por medio de la integración de múltiples herramientas, que van desde la creación de infraestructura y uso de Tecnologías de Información y Comunicaciones, hasta elaborar planes e iniciativas de mejora de calidad del proceso de desarrollo y fomentar el aprendizaje organizacional, uso de técnicas, y adopción de métodos que garanticen resultados tangibles para el proyecto final.

Referencias bibliográficas

Meredith, Jack R. & Mantel, Samuel J. 4a. edición, 2000. ***Project Management. A Managerial Approach***. John Wiley & Sons, U. S. A.

Kerzner, Harold. 1998. ***Project Management. A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling***. John Wiley & Sons, U. S. A.

M. I. José Francisco Grajales Marín, 2014. **Técnicas de planeación y evaluación de proyectos**. Editorial Talleres Gráficos UNACH, México.

Moder, Joseph J; Phillips, Cecil R. & Davis, Edward W. 3a. edición, 1995. ***Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming***. Blitz Publishing Company, U. S. A.

Ritz, George. 1994. ***Total Construction Project Management***. McGraw-Hill, U. S. A.

Klastorin, Charles. 2003. ***Administración de proyectos***. Editorial Alfa y Omega, S. A. de C. V.

Halpin, Daniel W. 3ª. Edición, 2006. ***Construction Management***. John Wiley & Sons, Inc.

Ignacio Soret Los Santos. 3ª. Edición, 2006. ***Logística y marketing para la distribución comercial***. ESIC Editorial, Madrid.

Grajales, j., Samayoa, I., Alonso F., Castellanos, J. & Ortiz, J (2017). **Administración de Proyecto**. Fondo Editorial Universitario. Ibiza España. ISBN 978-607-8459-70-4