



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



T E S I S

ANÁLISIS DE LA NIVELACIÓN DE RECURSOS DE MANO DE OBRA COMO ESTRATEGIA EN LA PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA (CONSTRUCCIÓN)

PRESENTA:

Luis Manuel Reynosa Morales

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. JOSÉ FRANCISCO GRAJALES MARÍN

TUXTLA GUTIÉRREZ, CHIAPAS

NOVIEMBRE DE 2013.

Con todo mi cariño y mi amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

A mis padres

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a *Dios* por haberme acompañado y guiado a lo largo de esta etapa de estudios, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencia y felicidad.

Agradezco al Mtro. José Francisco Grajales Marín por distinguirme con la dirección de este trabajo, por haber confiado en mi persona y sobre todo por su amistad.

A mis profesores, Dr. Francisco Alberto Alonso Farrera, Dr. José Ernesto Castellanos Castellanos, Mtro. Fredy Humberto Caballero Rodríguez, Dr. Arcadio Zebadúa Sánchez, y a la Dra. Daisy Escobar Castillejos, por los consejos, el apoyo y su amistad.

A mis hermanos, Verónica, Ilda, Homero, Juan, mis sobrinos, y cuñados que me acompañaron en esta aventura que significó la maestría y que de forma incondicional, entendieron mis ausencias y mis malos momentos. A mis padres, que a pesar que se han adelantado siguen presentes en mi vida diaria, a María Emilia que desde un principio hasta el día hoy sigues dándome ánimo para terminar este proceso.

A mis compañeros y amigos de la maestría, con quienes pudimos llevar adelante todas las clases y con los cuales todos los sacrificios y esfuerzos se podían encarar con una sonrisa. En **este sentido quiero en particular mencionar a Rita, Gabriela, Daniela, Maricela, Joralis, Blanca, Jerónimo, Fabián, Jorge, Julio, Merari, Héctor, Luis.**

Sinceramente, Luis Manuel.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,
11 de noviembre de 2013.

DR. FRANCISCO ALBERTO ALONSO FARRERA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
P R E S E N T E

En nuestra calidad de sinodales del Examen de Grado de Maestría en Ingeniería (Construcción) del C. Ing. Luis Manuel Reynosa Morales, nos permitimos manifestarle la aceptación del trabajo de tesis titulada: "Análisis de la nivelación de recursos de mano de obra como estrategia en la programación de proyectos de construcción".

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. Fredy Humberto Caballero Rodríguez
Asesor de tesis

Dr. Arcadio Zebadúa Sánchez
Asesor de tesis

Dr. Francisco Alberto Alonso Farrera
Asesor suplente de tesis

Dr. José Ernesto Castellanos Castellanos
Asesor suplente de tesis

C.c.p. Dra. Daisy Escobar Castillejos, Coordinadora de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería.
C.c.p. Archivo/Instituto



Nivel 1

Consejo Interinstitucional para la
Evaluación de la Educación Superior

Bonifacio Belisario Domínguez, Km. 1.081, Sta. Rita
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México, C.P. 29050.
Tel/Fax: 61 (961) 61 5 93 22, 61 5 95 27
info@asocii.mx www.ingenieria.asocii.mx



CONSEJO INTERINSTITUCIONAL
PARA LA EDUCACIÓN SUPERIOR
2009-2014





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas,
13 de Noviembre del 2013.
OFICIO F.I.05.272/13.

Ing. Luis Manuel Reynosa Morales
ESTUDIANTE DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA
EN CONSTRUCCIÓN
P R E S E N T E:

Por este medio comunico a usted, que le autoriza la impresión de su trabajo de tesis denominado: **"Análisis de la nivelación de recursos de mano de obra como estrategia en la programación de proyectos de construcción"**, 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 Servir"


DR. FRANCISCO ALBERTO ALONSO FARRERA
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERIA



C.c.p. Dra. Daisy Escobar Castillejos, Coordinadora de Investigación y Posgrado, Facultad de Ingeniería,
C.c.p. Archivominutario
FAAF/DEC/amj"



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

1.1	Historia de la administración de proyectos.....	13
1.2	Factores de desarrollo de la administración de proyectos.....	15
1.3	Visión del Project Management Institute (PMI).....	18
1.4	Cambios recientes en la administración de proyectos.....	21

CAPÍTULO 2 ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

2.1	Proyectos, definición y características.....	26
2.2	Objetivos de la administración de proyectos.....	30
2.3	Ciclo de vida del proyecto.....	33

CAPÍTULO 3 HERRAMIENTAS DE LA ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

3.1	Planeación del proyecto.....	37
3.2	SOW (Statement Of Work).....	48
3.3	WBS (Work Breakdown Structure).....	49
3.4	Programación.....	63
3.5	CPM (Critical Path Method).....	85
3.6	PDM (Precedence Diagramming Method).....	92

CAPÍTULO 4 ASIGNACIÓN Y NIVELACIÓN DE RECURSOS

4.1	Asignación de recursos.....	100
4.2	Algoritmo de asignación de recursos.....	105
4.3	Nivelación de recursos.....	118
4.4	Diagrama de carga de recursos.....	119
4.5	Algoritmo de Burgess-Killebrew.....	124

CAPÍTULO 5 APLICACIÓN DE LA NIVELACIÓN DE RECURSOS DE MANO DE OBRA EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO TIPO U2C..... 129

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 149

BIBLIOGRAFÍA 151

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Crecimiento del <i>Project Management Institute</i>	20
Figura 1.2	Triángulo del proyecto.....	24
Figura 2.1	Ciclo de vida de un proyecto.....	34
Figura 2.2	Ciclo de vida de un proyecto de construcción.....	35
Figura 3.1	Planeación del proyecto y sistemas de control.....	41
Figura 3.2	Ejemplo niveles de WBS.....	50
Figura 3.3	Ciclo planeación-administración.....	52
Figura 3.4	WBS del proyecto: Construcción de edificio tipo U2-C.....	58
Figura 3.5	Descomposición preliminar del proyecto.....	62
Figura 3.6	Etapas de la planeación de proyectos.....	66
Figura 3.7	Esquema para la construcción del cronograma del proyecto.....	68
Figura 3.8	Dependencia Finish to Start.....	70
Figura 3.9	Dependencia Finish to Finish.....	71
Figura 3.10	Dependencia Start to Start.....	71
Figura 3.11	Dependencia Start to Finish.....	72
Figura 3.12	Esquema de un Diagrama de Gantt.....	74
Figura 3.13	Diagrama de nodos con aplicación de CPM.....	90
Figura 3.14	Diagrama de Gantt del proyecto (Project de Microsoft®).....	91
Figura 3.15	Convenciones en un diagrama de precedencias.....	94
Figura 3.16	Red del proyecto con la aplicación de PDM y la ruta crítica.....	98
Figura 3.17	Diagrama de Gantt del proyecto (Project de Microsoft®).....	99
Figura 4.1	Situación inicial.....	107
Figura 4.2	Iteración 1 en $t = 0$	108
Figura 4.3	Iteración 2 en $t = 3$	109
Figura 4.4	Iteración 3 en $t = 9$	110
Figura 4.5	Iteración 4 en $t = 11$	111
Figura 4.6	Iteración 5 en $t = 16$	112
Figura 4.7	Iteración 6 en $t = 20$	113
Figura 4.8	Iteración 7 en $t = 24$	114
Figura 4.9	Iteración 8 en $t = 27$	115

Figura 4.10	Iteración 9 en $t = 30$	116
Figura 4.11	Diagrama de carga de recursos definitivo; resultado de la asignación.....	117
Figura 4.12	Situación inicial.....	119
Figura 4.13	Diagramas de Gantt con TPI y TLI.....	120
Figura 4.14	Diagramas de carga de los recursos.....	120
Figura 4.15	Gráfica de área de recursos factibles.....	122
Figura 4.16	Red y diagrama de Gantt.....	125
Figura 4.17	Situación inicial.....	126
Figura 4.18	Iteración 1, actividad H no se retrasa.....	126
Figura 4.19	Iteración 2, actividad G se retrasa 3 días.....	127
Figura 4.20	Iteraciones 3 a 6, Actividades E, F, D y B no se retrasan.....	127
Figura 4.21	Iteración 7, actividad H se retrasa 3 días.....	128
Figura 4.22	Programa después de la nivelación.....	128
Figura 5.1	Perspectiva del proyecto.....	131
Figura 5.2	Planta arquitectonica planta baja.....	132
Figura 5.3	Planta arquitectonica planta alta.....	132
Figura 5.4	Fachada principal.....	133
Figura 5.5	Fachada posterior.....	133
Figura 5.6	Fachada lateral.....	134
Figura 5.7	Corte transversal.....	134
Figura 5.8	WBS – Tasks del proyecto: Construcción de edificio tipo U2-C.....	135
Figura 5.9	WBS del proyecto: Construcción de edificio tipo U2-C.....	136
Figura 5.10	Diagrama de Gantt del proyecto (Project de Microsoft®).....	138
Figura 5.11	Curva “S” del proyecto.....	142
Figura 5.12	Gráfica del presupuesto del proyecto.....	142
Figura 5.13	Diagrama de Gantt.....	144
Figura 5.14	Diagrama de carga de recursos inicial.....	147
Figura 5.15	Diagrama de carga de recursos nivelado.....	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Enfoques de la planeación.....	38
Tabla 3.2	Datos del proyecto.....	64
Tabla 3.3	Calendario de ejecución.....	75
Tabla 3.4	Factor de mano de obra por concepto de primer mando.....	78
Tabla 3.5	Cálculo de la duración de una actividad.....	87
Tabla 3.6	Matriz de precedencias.....	89
Tabla 3.7	Proyecto de construcción edificio.....	90
Tabla 3.8	Resumen de resultados.....	91
Tabla 3.9	Determinación de los tiempos y holguras en un diagrama de precedencias.....	96
Tabla 3.10	Información del proyecto.....	97
Tabla 3.11	Resumen de resultados.....	99
Tabla 4.1	Datos del proyecto.....	107
Tabla 4.2	Recursos acumulados.....	121
Tabla 4.3	Datos de entrada del proyecto.....	125
Tabla 5.1	Programación del proyecto con PDM.....	137
Tabla 5.2	Costo Presupuestado del Trabajo Programado.....	140
Tabla 5.3	Datos Curva “S” del proyecto.....	141
Tabla 5.4	Datos de entrada del proyecto.....	143
Tabla 5.5	Nivelación inicial de recursos de mano de obra.....	145
Tabla 5.6	Nivelación de recursos de mano de obra.....	146

INTRODUCCIÓN

Se ha observado al utilizar herramientas de la administración de proyectos, que el planteamiento primario es el programa de obra y que posteriormente se enfrenta la situación de asignación de recursos de mano de obra; esto crea conflictos en la planeación porque originalmente se ha supuesto que los recursos siempre están disponibles.

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 la *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 sí, 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.

En la entidad, la mayoría de las dependencias que asignan obra pública, desestiman a la programación como una herramienta para la ejecución y control del proyecto, ya que establecen solamente las fechas de inicio y terminación del proyecto, y el contratista realiza un programa, generalmente a base de barras, en que distribuye arbitrariamente las actividades del proyecto; con un objetivo muy claro de asociar cada actividad con sus costos, y así favorecerse con los montos asignados a ciertas actividades en un cierto periodo.

Este programa es claro que no corresponderá a una secuencia lógica y ordenada del proyecto, y menos se podrá establecer un programa de control congruente con el programa de obra, que solo tiene la figura de un requisito más.

El proceso constructivo de toda obra debe estructurarse de manera que permita el orden en la disposición de los recursos de la construcción; entiéndase mano de obra, materiales, maquinaria y equipo. El éxito de un proyecto consistirá en combinar esos recursos de forma adecuada.

Aunado a lo anterior, y como es de todos sabido el costo de la mano de obra en un proyecto de construcción es de primera importancia; en edificaciones ejecutadas con métodos tradicionales llega a ser de hasta del 30 % del costo total de la obra, en obras pesadas en las que los costos de la maquinaria y equipo son los principales, el costo de la mano de obra llega a ser hasta el 15 % del costo total.

Debido a esto, es necesario tener especial cuidado en la programación, así como en la asignación y nivelación de recursos, pues cualquier error en estas decisiones incide directamente hasta en el 30 % del total del presupuesto.

En este trabajo, se examinaron los criterios para programar los recursos, considerando la disponibilidad de mano de obra en los programas de construcción. Esto tendrá un impacto en la aplicación de las técnicas de programación en las instancias dedicadas a la planeación de infraestructura en la entidad, lo cual permitirá mejorar sensiblemente los resultados esperados en cuanto a la terminación y el costo final de los proyectos.

La tesis se encuentra organizada en 6 capítulos, cuyo contenido se describe a continuación.

En el capítulo 1, se habla acerca de la historia de la administración de proyectos, sus factores de desarrollo, así como la visión del Project Management Institute (PMI) y los cambios recientes en la materia.

En el capítulo 2, se describen los conceptos sobre administración de proyectos, sus características, objetivos y el ciclo de vida del proyecto.

En el capítulo 3, se presentan algunas herramientas de la administración de proyectos, comenzando por la planeación del proyecto, el desarrollo y empleo de la WBS (*Work Breakdown Structure*), la programación de proyectos, y las técnicas de CPM (*Critical Path Method*) y PDM (*Precedence Diagramming Method*).

En el capítulo 4, se describen los conceptos básicos en la tesis: el concepto del problema de la *asignación y nivelación* de recursos, después de ello se habla sobre el diagrama de carga de recursos, gráfica de área de recursos factibles y se enuncia el algoritmo de Burgess-Killebrew para la nivelación de recursos.

En el capítulo 5, se detallan los resultados obtenidos en la nivelación de recursos de mano de obra del proyecto denominado: Construcción de edificio tipo U2-C que se construyó en el municipio de Ocozocoautla, Chiapas.

El capítulo 6 presenta las conclusiones de la tesis y recomendaciones para el empleo de las técnicas de la administración de proyectos.

1. ANTECEDENTES

1.1 Historia de la Administración de Proyectos

Desde el comienzo de la historia ha habido administradores de proyectos. De hecho, algunos teólogos dirán que el primer administrador de proyectos creó el cielo y la tierra en siete días (con un día adicional como amortiguador para contingencias inesperadas). Muchos proyectos, como las pirámides egipcias de Giza (2590 AC), el Coloso de Rodas (292 AC - 645 DC) y el Astrodromo de Houston (1965), proporcionan ejemplos de una buena administración de proyectos de construcción masiva.

El comienzo de la especialidad surge cuando los agricultores aprendieron a cosechar más alimento que el que ellos mismos necesitaron, y cambiaban su comida con otros hombres que eran capaces de pasar todo su tiempo en la fabricación de cosas útiles. Al aumentar la especialidad, en lugar de hacer sus propias casas, carros, barcos, etc., los hombres comenzaron a comprarlos de trabajadores expertos en estas artes. Con el paso del tiempo, se emprendieron Proyectos demasiado grandes para un solo artesano, hasta con la ayuda de sus hijos y aprendices. Estos proyectos requirieron el trabajo de cientos hasta de miles de hombres, organizados y dirigidos hacia un objetivo común. De esta forma surgieron los técnicos o ingenieros que combinaron la experiencia práctica con conocimientos generales y principios teóricos para construir edificios públicos e instalaciones planificando los detalles y dirigiendo a los trabajadores.

Al final de los años 50, los ingenieros *DuPont Corporation* estaban preocupados por el tiempo de paro para mantenimiento en su planta en *Louisville, Kentucky*, que se había convertido en un cuello de botella en su proceso de producción de neopreno. Para evitar la construcción de otra planta, los ejecutivos de *DuPont* Contrataron a la empresa *Catalytic Construction Company* para que estudiara la

planta de Louisville y sugiriera una manera de reducir el tiempo de mantenimiento. El estudio, que indicaba que era posible disminuir significativamente el tiempo de mantenimiento de la planta de Louisville, estuvo basado en una nueva metodología que ahora se conoce como el método de la ruta crítica (CPM, *critical path method*). Como resultado de este estudio, los ingenieros pronosticaron que la producción en la planta de Louisville podía aumentarse a un nivel tal, que ya no sería cuello de botella ni sería necesaria otra planta.

Aproximadamente al mismo tiempo, los asesores de la empresa *Booze, Allen y Hamilton* desarrollaban un nuevo sistema de AP¹ para el programa *Polaris Fleet Ballistic Missile* de la Oficina de Proyectos Especiales de la Marina de Estados Unidos (*US Navy's Special Projects Office*). El misil *Polaris*, el primer misil balístico intercontinental que podría ser lanzado desde un submarino sumergido en el agua, representaba el mayor (y uno de los más arriesgados) intento de investigación y desarrollo realizado a la fecha. Dada la incertidumbre involucrada en el proyecto, los administradores querían una metodología que no solo incorporara la incertidumbre en la planeación, sino también les permitiera estimar probabilidades de eventos importantes (por ejemplo, si el sistema de propulsión avanza como fue planeado, ¿cuál es la probabilidad de que podamos hacer un lanzamiento de prueba en una fecha determinada?). La metodología desarrollada para ayudar en la administración de este proyecto se conoció como PERT (técnica de revisión y evaluación de programas, o *Program Evaluation and Review Technique*) e introducía explícitamente la incertidumbre a la programación y el proceso de asignación del proyecto.

Hace ya varias décadas que se han marcado por el crecimiento de la administración de proyectos como un medio por el cual las organizaciones logran sus objetivos. La AP provee a una organización con poderosas herramientas que

¹ En este trabajo, para facilitar la lectura, se utilizará el anagrama AP para mencionar a la Administración de Proyectos.

mejoran su habilidad para planear, implementar y controlar sus actividades, así como la manera de utilizar a las personas y los recursos.

Generalmente las personas se preguntan: ¿por qué no puede el gobierno funcionar como mi empresa? Sin embargo; en el caso de la AP, los negocios u otras organizaciones han aprendido del gobierno, no al revés. El desarrollo de las técnicas y prácticas de la AP perteneció a los militares; mostraron importantes avances que simplemente no se hubieran logrado por medio de las organizaciones que operaban de manera tradicional. El Programa *Polaris* de la Marina de los EE. UU., el Programa Espacial *Apolo* de la NASA y más recientemente el Transbordador y el desarrollo de misiles, bombas *Smart*²; son algunas de las muchas instancias de la aplicación de las técnicas especiales de administración a la extraordinaria complejidad de los proyectos.

1.2 Factores del desarrollo de la administración de proyectos

La AP ha surgido de las características de la sociedad del siglo XX, que demandó el desarrollo de nuevos métodos de administración. De todas las fuerzas involucradas, tres son las principales:

- 1) La expansión exponencial del conocimiento;
- 2) el crecimiento de la demanda en una amplia franja de complejos y sofisticados, bienes y servicios;
- 3) y la evolución de los mercados competitivos para la producción y consumo de bienes y servicios.

Las tres fuerzas combinadas coinciden en que para resolver problemas se necesitan equipos, no individuos. Las tres fuerzas combinadas aumentan considerablemente la complejidad de bienes y servicios producida y hay una

² Bombas inteligentes.

complejidad adicional que proviene de los procesos. Esto, de nuevo, conduce a la necesidad de sistemas más sofisticados para controlar a ambos, los resultados y los procesos.

(1) La expansión del conocimiento permite incrementar el número de disciplinas académicas que serán utilizadas en la solución de problemas asociados con el desarrollo, producción y distribución de bienes y servicios.

(2) el satisfacer la demanda continua de productos cada vez más sofisticados, depende de la habilidad para hacer del diseño, una parte integral de los sistemas de producción y distribución y,

(3) los mercados inducen a incluir las diferencias culturales y ambientales en las decisiones administrativas acerca de *qué, dónde, cuándo, y cómo* producir y distribuir los productos. El requisito del conocimiento no reside en el individuo, en cuanto a lo que ha estudiado. Entonces, bajo estas condiciones, se usan equipos de trabajo para la toma de decisiones y efectuar acciones. Estos tienen un alto nivel de coordinación y cooperación entre grupos de personas no particularmente usadas para tal interacción. Los sistemas de administración y estructuras de organización tradicionales no son adecuados para esta tarea, la administración de proyectos, sí.

Las respuestas a las fuerzas anotadas arriba no pueden tomar la forma de una transformación instantánea de lo antiguo a lo nuevo. Para ser exitosa, la transición debe ser sistemática; pero esto también se puede volver lento y tortuoso para algunas empresas. El logro del cambio organizacional es una aplicación natural de la administración de proyectos, y muchas organizaciones tienen proyectos para implementar sus metas para el cambio estratégico y táctico.

Otro impulso importante es la competencia intensa entre instituciones, ya sea con beneficios o sin ellos promovida por el sistema económico. Esto pone mucha presión en las organizaciones para hacer que sus productos estén disponibles tan rápido como sea posible. El tiempo de mercado es crítico. Las respuestas deben ser rápidas, las decisiones deben tomarse pronto y los resultados deben ocurrir más rápidamente. Es fácil imaginar los problemas de comunicación, además la información y el conocimiento crecen explosivamente, pero el tiempo permisible para localizar y usar el conocimiento apropiado decrece.

En adición, estas fuerzas operan en una sociedad que asume que la tecnología puede hacer cualquier cosa. De hecho, esto es razonablemente cierto, en las fronteras de las leyes del conocimiento. A veces la sociedad ignora los costos asociados con el avance tecnológico, no olvidar Chernobyl y al Exxon Valdez³.

Finalmente, los proyectos son cada vez más grandes. Por ejemplo, las máquinas herramientas avanzan de ser controladas numéricamente a un *centro de maquinado* y luego a un *sistema flexible de manufactura*. Cada nueva capacidad, sirve como base para nuevas demandas que obligan a extender el alcance cada vez.

Los proyectos que más llaman la atención tienden a ser grandes, complejos, y con participación multidisciplinaria. Muchas veces, éstos son diferentes de proyectos similares con los cuales se puede ser más o menos familiar. Las similitudes con el pasado sirven de base para comenzar, pero las diferencias significan riesgo considerable. Las complejidades y aspectos multidisciplinarios de los proyectos, requieren de que muchas partes al juntarlas, hagan posible alcanzar los primeros objetivos: ejecución, tiempo y costo.

³ Desastres ecológicos: Chernobyl, accidente nuclear en 1986. Exxon Valdez, derrame de petróleo crudo en 1989.

1.3 Visión del PMI (Project Management Institute)

El Project Management Institute (Instituto para la Administración de Proyectos) es una organización profesional no lucrativa que promueve la administración de proyectos. Fundado en 1969, el PMI se ha convertido en una organización internacional que tiene actualmente más de 260,000 miembros en cerca de 170 países. El PMI ha promovido la idea de que la administración de proyectos requiere un conjunto de habilidades y un cuerpo de conocimientos que son únicos para administrar proyectos.

Harold Kerzner⁴ define a la administración de proyectos como:

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.

La complejidad de los problemas mostrados por los administradores de proyectos, se consideran en el crecimiento tan rápido del número de proyectos orientados a la búsqueda de resultados, contribuyendo así a la profesionalización de la administración de proyectos. El PMI fue establecido en 1969; para 1990, el PMI tenía 7,500 miembros. Cinco años más tarde había crecido a 17,000, y al final de 1998 tenía 44,000 (ver figura 1.1). Este crecimiento exponencial es indicativo del rápido crecimiento de aplicación de las técnicas de la AP, pero también refleja la importancia del PMI como fuerza del desarrollo de la administración de proyectos como una profesión. Su misión es promover el crecimiento de la administración de

⁴ El Dr. Harold Kerzner es Director Ejecutivo del Instituto Internacional para el Aprendizaje y adjunto de la Facultad de Administración de Sistemas del Colegio Baldwin-Wallace, donde se ha especializado en áreas de la administración de proyectos, planeación estratégica y administración de la calidad total. Egresado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Illinois y de la Escuela de Administración de Negocios de la Universidad Estatal de Utah; con experiencia industrial en la Corporación Thiokol, donde ha contribuido en programas de administración e ingeniería del proyecto, ha tenido responsabilidad en programas de la NASA, Fuerza Aérea, Ejército, Marina y en programas independientes de investigación y desarrollo.

proyectos, así como la *profesionalización*. El *Project Management Journal* y la revista *PM Network* fueron creados por el PMI para la comunicación de ideas acerca de la administración de proyectos, así como de las soluciones a problemas comunes detectados.

Otro objetivo del PMI es codificar las áreas de aprendizaje requeridas para ser competente en la administración de proyectos. Éste es el cuerpo del conocimiento de la administración de proyectos PMBOK, documento que sirve como la base fundamental para el entrenamiento de los administradores de proyectos. La profesión ha florecido, con el resultado de que en muchas universidades se ofrecen la formación en administración de proyectos y otras escuelas ofrecen programas especializados en el área.

Es claro que el crecimiento en el número de administradores y del PMI fue el resultado, no la causa del gran aumento de proyectos que han sido realizados. Solamente, la industria del software es responsable de un porcentaje importante en este crecimiento. Otra fuente es la necesidad de controlar los proyectos en organizaciones grandes. Como el número de actividades no rutinarias se incrementa, hay un aumento de las necesidades de los directores de entender y controlar los sistemas. La AP con sus programas, presupuestos, fechas de pago, valoración del riesgo, el establecimiento de resultados, además del compromiso y responsabilidad de los equipos de trabajo; es una manera de atender estas necesidades. Estas fuerzas combinadas conducen a la creación de una empresa de proyectos.

El trabajo de un administrador de proyectos siempre tiene problemas. Siempre está presente la frustración de ser responsable de los resultados del proyecto careciendo de la autoridad completa para utilizar los recursos o el personal. Hay problemas constantes con las relaciones entre las diferentes partes involucradas en los proyectos: el director, el cliente, el equipo del proyecto, y la sociedad; todos

utilizando diferentes lenguajes y con diferentes objetivos. Hay incesantes luchas organizacionales y técnicas. Hay administradores de proyectos que no parecen respetar las fechas de entrega. Esta lista de problemas sólo son los superficiales, está todavía lo que subyace.

Los desafíos son muchos y el riesgo es grande, pero así son las recompensas del éxito. Los administradores de proyectos, disfrutan su visibilidad organizacional, la considerable variedad de sus obligaciones día a día, y con frecuencia tienen un prestigio asociado con la eficiencia enfocada a los objetivos de alta prioridad de una empresa. La profesión, sin embargo, no es para tímidos; el riesgo y los conflictos evitan que los administradores sean felices. Aquellos que soportan los riesgos y disfrutan practicando el arte de resolver problemas, pueden lograr recompensas monetarias y psicológicas de su trabajo.

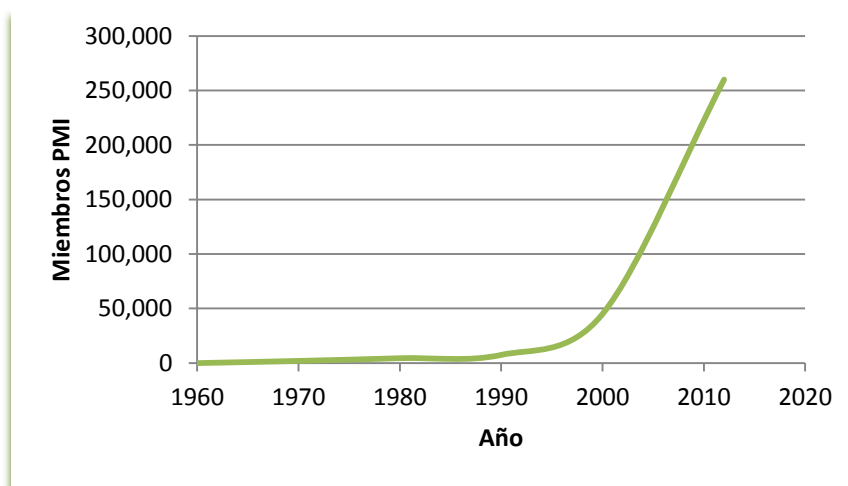


Figura 1.1 Crecimiento del *Project Management Institute*

1.4 Cambios recientes en la AP

En la primera mitad de la década de los 90's, el proceso de administrar organizaciones fue impactado por tres cambios revolucionarios. Primero, se tuvo un remplazo acelerado de la administración jerárquica tradicional por una administración consensual. Segundo, se fue testigo de la adopción del *acercamiento a sistemas* (algunas veces llamada ingeniería de sistemas) del trato con problemas organizacionales o tecnológicos, porque es claro que cuando se actúa en una parte de la organización o sistema, se afectan otras partes. Tercero, se han visto organizaciones que establecen a los proyectos como la manera preferida de lograr cambios específicos que deben ser hechos cuando la organización intenta alterar sus estrategias.

Los ejemplos varían de los cientos de proyectos requeridos para lograr la *globalización* de productos de la casa, a los proyectos que logran el establecimiento de la e-negocio, a la menor adaptación de productos para el consumidor. Se ha visto un rápido y sostenido crecimiento en el número de organizaciones que utilizan proyectos para lograr casi todas las tareas no rutinarias que emprenden. Mientras que estos tres fenómenos fueron considerados por muchos años, es muy reciente que las técnicas sean practicadas y reconocidas como una guía.

En su libro, *Rescuing Prometheus*, el historiador de tecnología Thomas Hughes, examina cuatro proyectos de gran escala que requirieron de un estilo de administración, de un diseño organizacional y de un acercamiento no tradicionales, para resolver problemas y lograr sus objetivos. Estos grandes proyectos: el Sistema de Defensa Aérea, el cohete balístico intercontinental Atlas, el Túnel de la Arteria Central de Boston y la agencia de Internet de proyectos de investigación avanzada del Departamento de Defensa (ARPANET); estuvieron caracterizados por los requerimientos de entrada de extraordinarios y diversos

conocimientos e información. El tamaño y complejidad tecnológica de estos proyectos requirieron de la entrada de un gran número de organizaciones autónomas: del gobierno, de la industria y académicas; que usualmente no trabajan en cooperación con otras organizaciones y fueron a veces competidoras. Aún más, cualquier acción tomada con alguna parte del proyecto, causaba perturbación en otras partes del sistema.

Obviamente, estos proyectos no fueron los primeros con ese grado de complejidad. Por ejemplo, el Proyecto Manhattan dedicado al desarrollo de la bomba atómica, fue uno de esos proyectos. Este proyecto, sin embargo, fue un trabajo único y de tiempo completo para individuos y organizaciones que estuvieron en él. Las organizaciones contribuyeron a que los proyectos de las organizaciones Hughes (transdisciplinarios), trabajaran en muchas tareas. Por ejemplo, el MIT (Massachusetts Institute of Technology), el Pentágono, IBM, Laboratorios Bell, RAND Corporation, el MDH (Massachusetts Department of Highways) estuvieron involucrados en grandes proyectos, mientras hacían su trabajo habitual. El uso de múltiples organizaciones (dentro y fuera de la empresa) contribuyó a la multidisciplina en forma notable. Los proyectos en estas condiciones, fueron más la regla que la excepción.

Estas revoluciones y transformaciones en el estilo de la administración y organización de proyectos, es de esperar que prevalezcan. Por ejemplo, se puede creer que el empleo de la administración jerárquica y tradicional, en lugar de una administración consensual es un mayor generador de conflictos entre todos los miembros de un equipo del proyecto. Se tiene claro que el personal de proyectos multidisciplinarios con individuos centrados originalmente en disciplinas específicas más que en problemas personificados en el proyecto, pueden alcanzar altos niveles de conflictos interpersonales entre los miembros del equipo.

La AP pretende establecer las tareas específicas de los administradores de proyectos. Se investiga la naturaleza de los proyectos en los cuales es responsable, las tareas para administrar un proyecto y los medios por los que puede conducirlos al éxito, en términos de los tres criterios principales: la ejecución, el tiempo y el costo.

La AP en su forma moderna, comenzó a afianzarse hace sólo unas décadas. A partir de principios de los años sesenta del siglo pasado, las empresas y otras organizaciones comenzaron a observar las ventajas de organizar el trabajo en forma de proyectos. Esta perspectiva de organización centrada en proyectos evolucionó aún más cuando las organizaciones empezaron a entender la necesidad fundamental de que sus empleados se comuniquen y colaboren entre sí al tiempo que integran su trabajo en diferentes departamentos, profesiones y, en algunos casos, industrias completas.

En la actualidad, los preceptos básicos de la administración de proyectos están representados por *el triángulo del proyecto*, un símbolo que popularizó Harold Kerzner en su obra de referencia, *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*.

Cada proyecto en general tiene tres elementos: un límite de tiempo, un presupuesto limitado y un alcance definido. Estos tres factores interactúan entre sí y de acuerdo a como se comporte uno de ellos se verán afectados los otros dos. La administración de proyectos se vuelve más interesante cuando se debe equilibrar el tiempo, el costo y el alcance del proyecto. Una forma de representar este equilibrio es mediante el Triángulo del proyecto que se muestra en la figura 1.2.

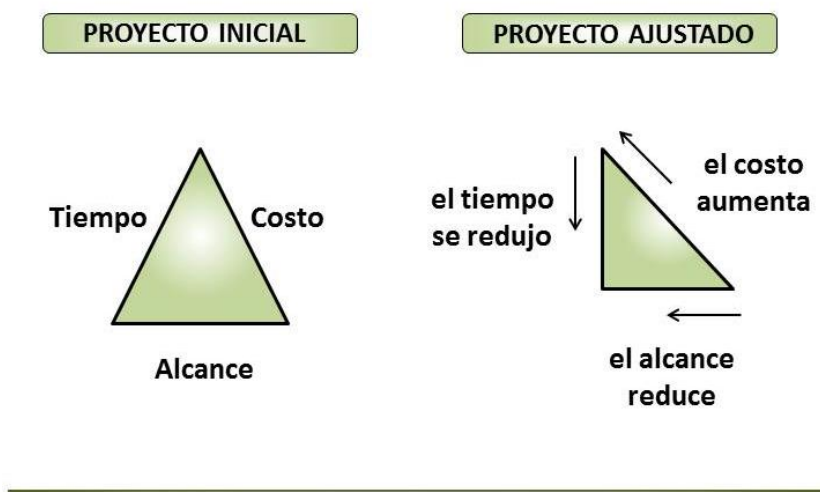


Figura 1.2 Triángulo del proyecto

Tiempo

Todo proyecto está sujeto al tiempo o una determinada duración. La mayoría de los proyectos tienen fecha límite o plazo de entrega. Durante el tiempo asignado, habrán determinados puntos de control (denominados hitos) en los cuales se va verificando si el proyecto se está cumpliendo de acuerdo a lo planificado.

Costo

El costo es la cantidad monetaria de inversión necesaria para que se cumpla el proyecto. Este costo no siempre será económico, puede ser un costo de personal (pintor, electricista), equipamiento (computadora, impresora), material (hojas, tinta), inmuebles (alquiler de un local). Estos costos se traducen como presupuesto económico. Todo proyecto dependerá del costo o presupuesto.

Alcance

Es el trabajo que se requiere hacer para lograr las metas del proyecto. También se le denomina ámbito. El alcance del proyecto está conformado por las tareas que a su vez se dividen en sub tareas. También en el alcance del proyecto participan las características, especificaciones y la calidad final que se desea en el proyecto.

En este sentido, las razones del creciente interés por la administración de proyectos (AP) se hacen evidentes mediante un cuidadoso examen del panorama actual de los negocios. Pero más importante, quizá, administración de proyectos es sinónimo de administración del cambio. Las organizaciones que quieren modificar su enfoque o dirección reconocen, cada vez más, que implantar verdaderos cambios requiere la introducción de nuevos productos, procesos o programas de manera oportuna y de manera eficiente en costos.

El cambio rápido se ha convertido, actualmente, en un requisito esencial para la supervivencia de casi todas las organizaciones. Conforme el ciclo de vida de los productos disminuye, deben desarrollarse e implementarse nuevos productos y servicios, tan rápida y eficientemente como sea posible.

Por otro lado, la naturaleza de los proyectos ha cambiado en la última década. La administración de proyectos se ha usado desde el tiempo de las pirámides de Egipto, hace casi cinco mil años. Aunque no sabemos si la construcción de las pirámides de Egipto terminó a tiempo y dentro del presupuesto, sí sabemos que hoy las organizaciones realizan proyectos rutinarios en entornos globales complejos que hacen la coordinación y la comunicación mucho más difícil que en los tiempos de la construcción egipcia hace cinco mil años.

Finalmente, dada la reciente historia de experiencias en proyectos, la administración de proyectos profesional ofrece una metodología que ha sido cuidadosamente definida, refinada y aplicada con éxito durante los últimos años. La administración de proyectos es un sistema bien desarrollado que puede ayudar a las organizaciones a lograr sus metas con oportunidad. Como resultado, la administración de proyectos se ha convertido en una parte esencial de la administración de alta tecnología, un elemento crucial del comercio electrónico y una parte importante del movimiento de globalización que ha transformado a la economía mundial en los últimos años.

2. ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS

2.1 Proyectos. Definición y características

En el campo de la administración de proyectos, el PMI⁵ 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 fueran proyectos que cabrían en cualquier definición de proyecto. En la actualidad, la AP se dice que comenzó con el Proyecto Manhattan⁶. 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 refinerías y carreteras, entre otros.

Uno de los autores que más han influido en la profesionalización de la administración de proyectos es Harold Kerzner, 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.*

⁵ Project Management Institute.

⁶ Proyecto de desarrollo de la bomba atómica en 1940.

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 AP, es usual que se haga una distinción entre términos como *proyecto*, *programa*, *tarea* y *paquetes de trabajo*. 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 subtarefas 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). El ciclo de vida se discute en la sección 2.3 donde hay una excepción a la descripción más usual de la curva de crecimiento.

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*⁷ 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*⁸ (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 proyectos. Se puede argumentar que cada una de estas actividades son, en algún

⁷ 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.

⁸ Alguien que puede afectar o es afectado por las actividades de una empresa; o también: parte interesada.

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 una 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 sorpresivo, 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.

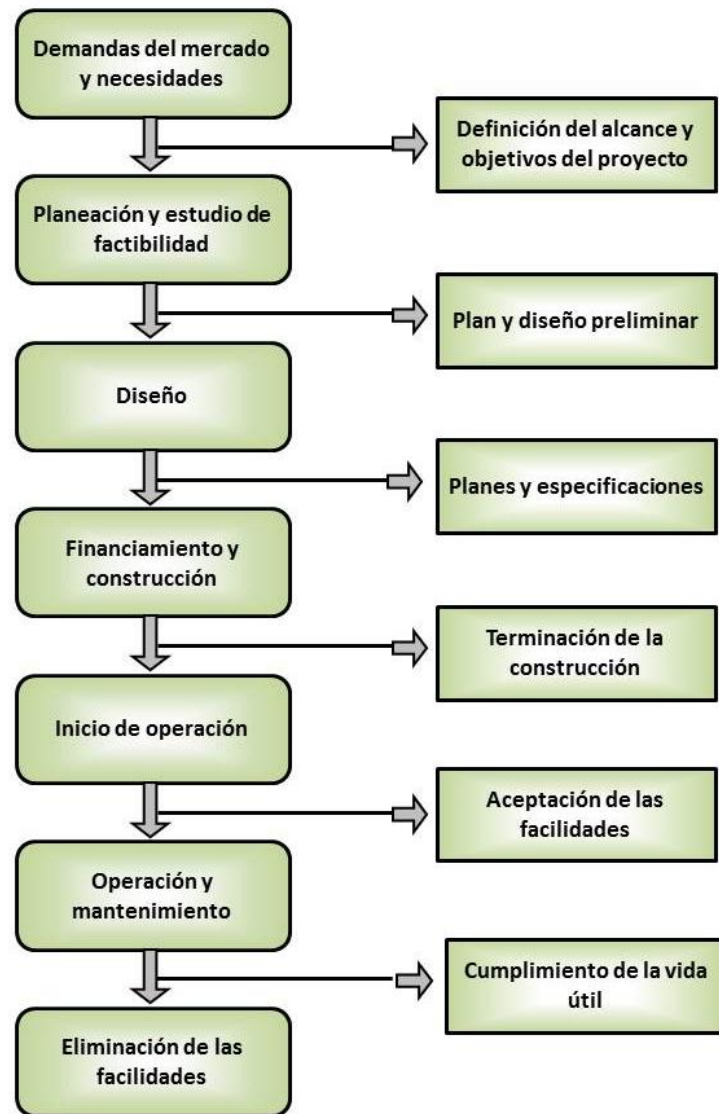


Figura 2.1 Ciclo de vida de un proyecto

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.

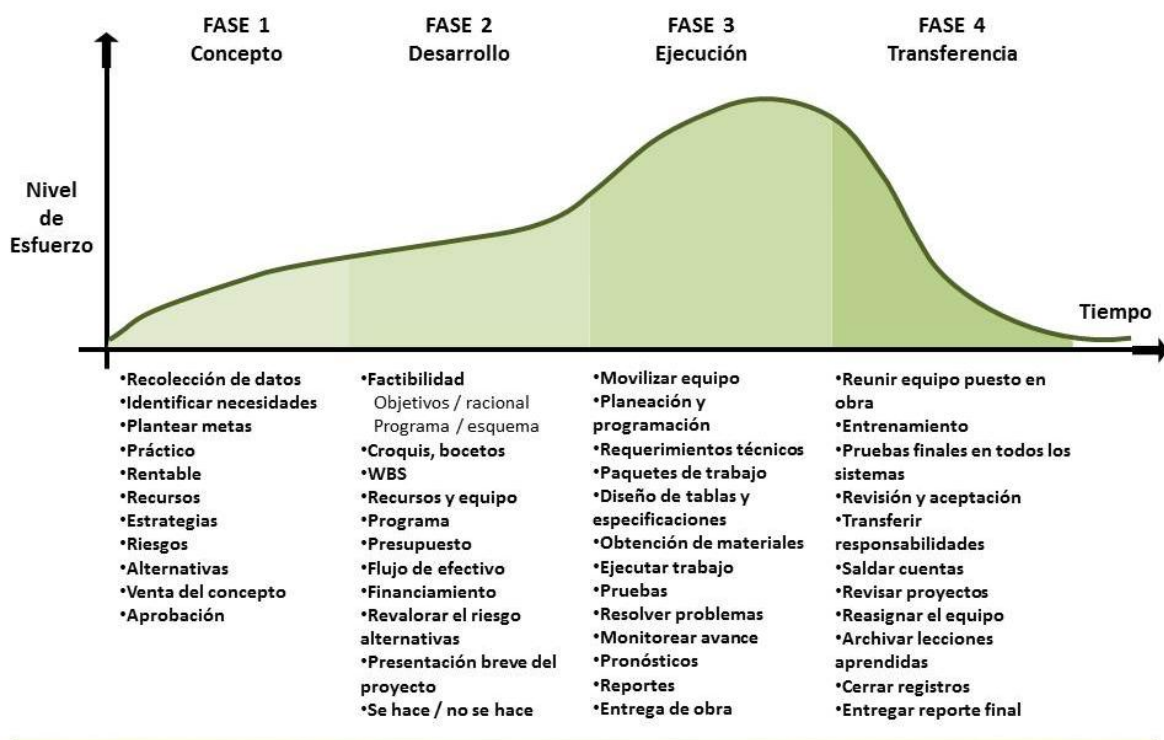


Figura 2.2 Ciclo de vida de un proyecto de construcción

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.

3. 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.

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 3.1:

ENFOQUE	DOCUMENTOS
Temporal	Programas
Económico	Presupuestos
Metodológico	Procedimientos
De comportamiento	Reglamentos

Tabla 3.1 Enfoques de la planeación

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 del mismo. 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 representa las actividades de planeación y los de la parte inferior identifica al *seguimiento* o monitoreo de las actividades.

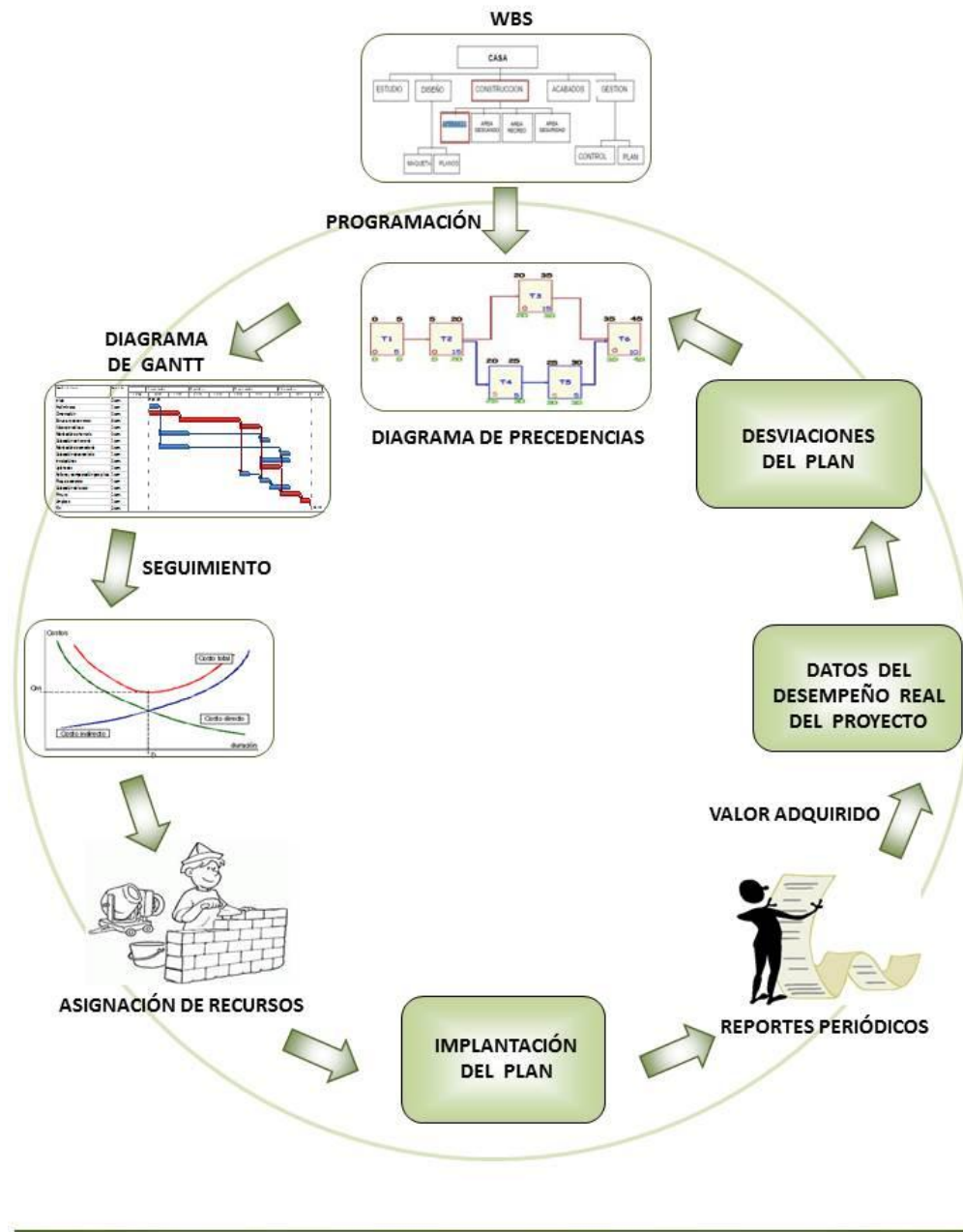


Figura 3.1 Planeación del proyecto y sistemas de control

En la lista siguiente aparecen los resultados típicos de una planeación pobre:

- Iniciación 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 donde 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 al alcance del trabajo, la fecha de terminación y el costo final.

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)

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 AP, por el cliente o por los usuarios.

3.3 WBS (Work Breakdown Structure)

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 la construcción de la WBS para la construcción de edificio del caso de estudio de este trabajo.

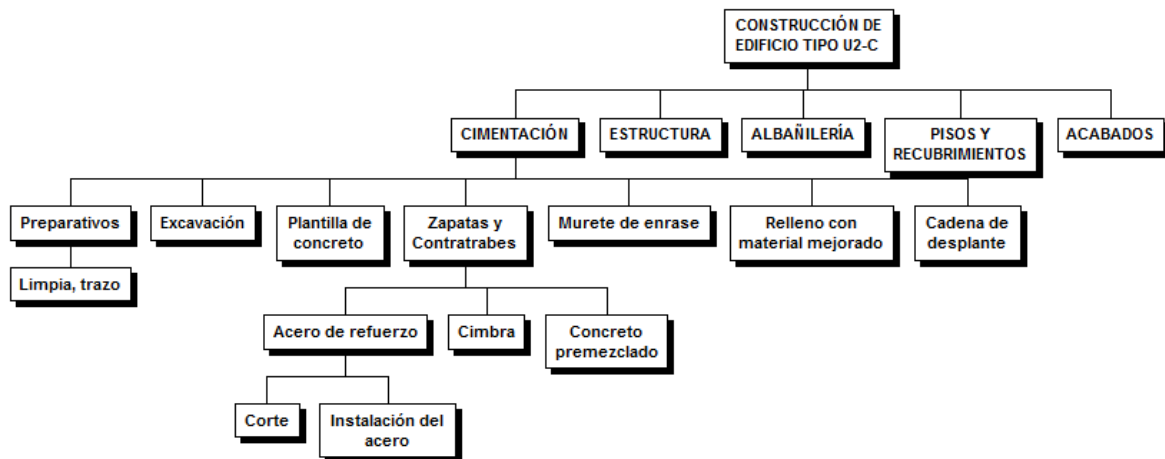


Figura 3.2 Ejemplo niveles de WBS

Construcción de edificio tipo U2C definida en el nivel I está sub-dividida en sus principales partidas, en el nivel II. La *Cimentación* es a su vez dividida en sus principales componentes en el nivel III. Similarmente, la actividad *Zapatas y Contratraves* consiste de *Acero de refuerzo*, *Cimbra* y *Concreto premezclado*.

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:

$$\text{Planeación} = \text{WBS} + \text{Secuencia del trabajo}$$

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*.

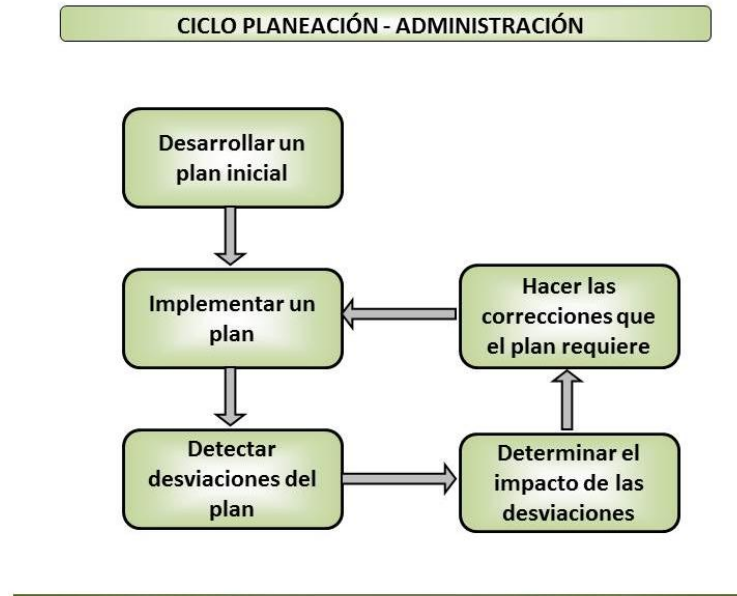


Figura 3.3 Ciclo planeación-administración

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 sub-tareas 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.

Paquetes de trabajo del proyecto

Se desarrolla un conjunto de paquetes de trabajo para el proyecto. Primero, deben determinarse las localizaciones relacionadas con los paquetes de trabajo. Como se menciona anteriormente, la cimentación puede ser considerada como una localización. Es importante si el alcance del trabajo incluye el estacionamiento. Para los propósitos del proyecto de edificación, se puede asumir que está dentro del alcance de la tarea. La *localización* de los paquetes de trabajo pueden ser los siguientes:

1. Cimentación
2. Estructura
3. Albañilería
4. Herrería y cancelería
5. Instalaciones
6. Pisos y recubrimientos
7. Acabados

Agregando la categoría de *tipo de material* se expande el número de paquetes de trabajo. Aunque esta lista no está completa, indica el nivel de detalle que puede ser considerado aún en un proyecto pequeño (cuando solo se han definido dos niveles).

Si se incluye el sistema hidráulico para cubrir la localización, tipo de material, métodos y recursos; se pudiera agregar la siguiente lista en la WBS:

- 1) Excavación del sistema de drenaje
- 2) Instalación de drenaje
- 3) Instalación de fosa séptica
- 4) Líneas de tubería de agua
- 5) Instalación de sanitarios
- 6) Instalación de agua caliente

Resumiendo, se pueden establecer los siguientes paquetes de trabajo:

- 1) Limpia, trazo
- 2) Excavación
- 3) Plantilla de concreto
- 4) Acero de refuerzo en zapatas y contratraveses
- 5) Cimbra en zapatas y contratraveses
- 6) Concreto premezclado en zapatas y contratraveses
- 7) Acero de refuerzo en dados

- 8) Cimbra en dados
- 9) Concreto premezclado en dados
- 10) Murete de enrase
- 11) Relleno con material mejorado
- 12) Cadena de desplante
- 13) Acero de refuerzo en columnas planta baja
- 14) Cimbra en columnas planta baja
- 15) Concreto premezclado en columnas planta baja
- 16) Acero de refuerzo en trabes de entrepiso
- 17) Cimbra en trabes de entrepiso
- 18) Concreto premezclado en trabes de entrepiso
- 19) Acero de refuerzo en losa de entrepiso
- 20) Cimbra en losa de entrepiso
- 21) Concreto premezclado en losa de entrepiso
- 22) Acero de refuerzo en columnas planta alta
- 23) Cimbra en columnas planta alta
- 24) Concreto premezclado en planta alta
- 25) Acero de refuerzo en trabes de azotea
- 26) Cimbra en trabes de azotea
- 27) Concreto premezclado en trabes de azotea
- 28) Acero de refuerzo en losa de azotea
- 29) Cimbra en losa de azotea
- 30) Concreto premezclado en losa de azotea
- 31) Muros de tabicón planta baja
- 32) Muros de tabicón planta alta
- 33) Construcción de gárgolas de concreto
- 34) Fabricación de protecciones metálicas
- 35) Fabricación de cancelería de aluminio
- 36) Colocación de protecciones metálicas
- 37) Colocación de cancelería de aluminio

- 38) Instalación hidrosanitaria
- 39) Instalación eléctrica
- 40) Aire acondicionado
- 41) Piso de concreto
- 42) Forjado de escalones
- 43) Colocación de piso de loseta
- 44) Colocación de lambrín de azulejo
- 45) Aplanado esponjeado
- 46) Aplanado cerroteado
- 47) Impermeabilización de azotea
- 48) Pintura vinílica interior
- 49) Pintura vinílica exterior

Estos paquetes de trabajo se observan en la figura 3.4:

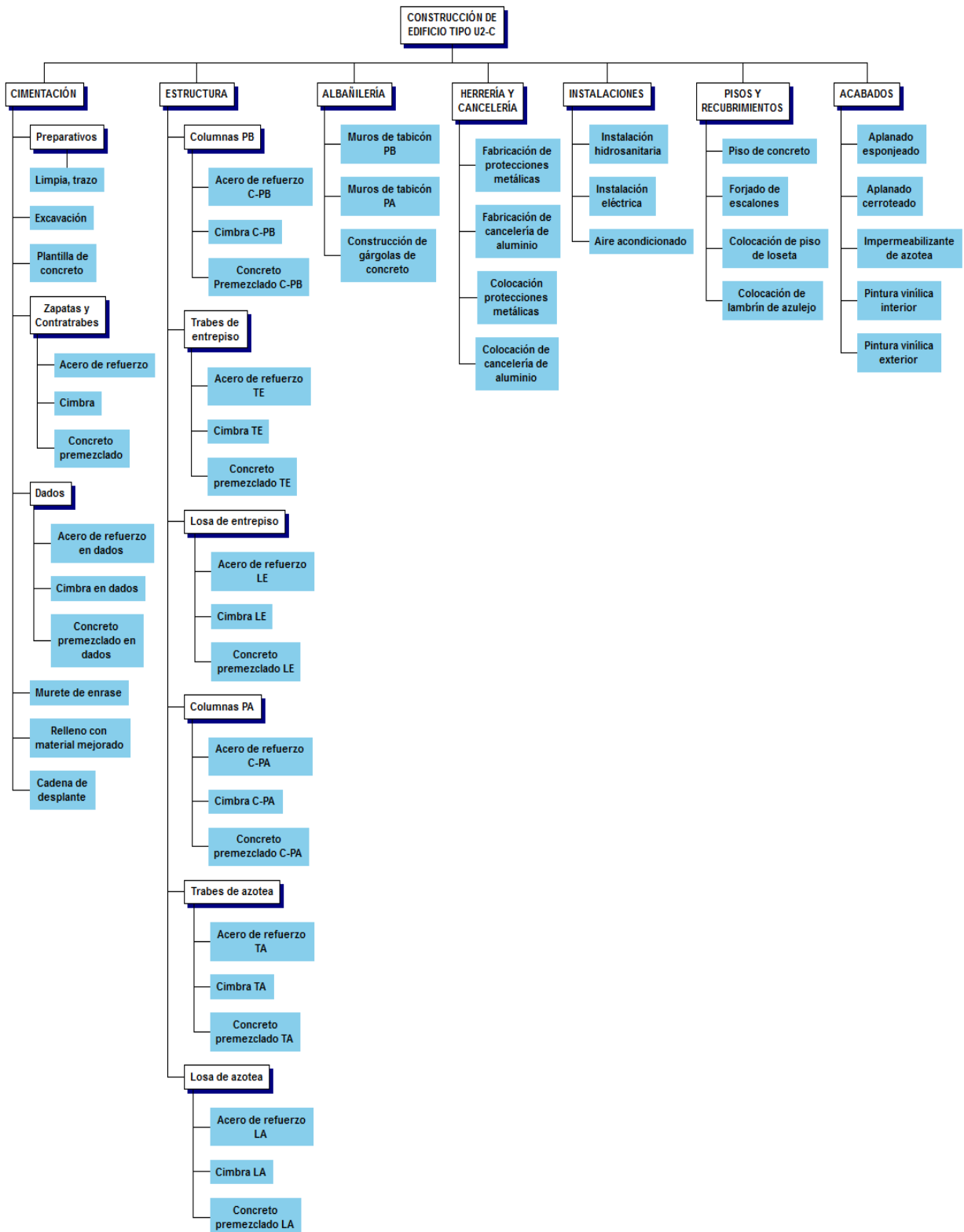


Figura 3.4 WBS del proyecto: Construcción de edificio tipo U2-C

Secuencia de los paquetes de trabajo

Cuando ya se ha descompuesto el proyecto en sus paquetes de trabajo, pueden definirse las actividades y su secuencia para facilitar la administración y el control. La palabra *actividad* es generalmente usada cuando se discute el control o la programación para referirse a una tarea que aparece en el programa en una secuencia lógica.

En el arreglo de la secuencia de los paquetes de trabajo para efecto del control, los criterios de (1) *localización* (2) *material* (3) *método* y (4) *recursos requeridos* deben ser considerados desde la perspectiva de cómo estos criterios impactan en la secuencia de las actividades. Por ejemplo, la localización puede determinar la secuencia. Es normal terminar la estructura para el 1er. piso de un edificio antes de iniciar el trabajo sobre la estructura del 2°. Esta se puede considerar como una restricción *física* ya que el 2° piso no puede ser apoyado hasta que el 1° esté terminado. La restricción física o *lógica física* son comunes en la construcción. Aspectos de localización de un paquete de trabajo puede determinar la secuencia.

En algunos casos, los requerimientos físicos no determinan la secuencia. En trabajos relativos a los acabados de las recámaras, muebles fijos como lavabos, cómodas o divisiones deben instalarse. Muros y acabados de pisos deben ser terminados. Esta no es una restricción física, es una decisión de la administración si es hecho primero el muro y pisos primero o los muebles fijos se instalan primero. En este caso, la situación es controlada por una decisión administrativa (el mueble fijo está disponible primero) y la secuencia es manejada por la *lógica de la administración*.

Una secuencia preliminar de los paquetes de trabajo se muestra en la figura 3.5. Una actividad está definida para la mano de obra, material, y equipo en el sitio y la preparación del sitio. Luego el área de localización es ordenada en la secuencia

comenzando con la cimentación y terminando con los acabados interiores y exteriores y el sistema eléctrico, los cuales pueden elaborarse al mismo tiempo (en paralelo). Esta secuencia preliminar proporciona la estructura para el desarrollo del programa.

Siguiendo a la preparación del sitio, las zapatas de la cimentación deben alcanzar suficiente resistencia, para erigir la estructura. Debe notarse que, en este caso, la losa de piso de laboratorios, y áreas de aulas así como los sanitarios no son instalados hasta que la estructura no se ha construido. Como la cimentación está proyectada con un sistema de zapatas corridas que soportan a los muros y columnas, la armazón y pisos pueden ser terminados antes de repartir las losas de piso alrededor del edificio. Cuando el piso ha terminado y la estructura se ha cerrado, se puede proceder a la construcción dentro sin perjuicio del clima.

Conforme se desarrolla el plan, se debe considerar dar otro tiempo a las actividades, las cuales no necesariamente se identifican usando los criterios de localización, método, y recursos:

- 1) Las acciones administrativas tales como inspecciones, permisos, etc., deben ser considerados en el desarrollo de la secuencia lógica
- 2) La entrega de materiales también son factores del programa
- 3) Finalmente, ciertas actividades vinculadas a las propiedades físicas de los materiales o procedimientos requeridos (por ejemplo, curado del concreto, mezcla de materiales de compactación, etc.), deben ser incluidos en el programa

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 proyecto⁹. 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 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

⁹ 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.

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.

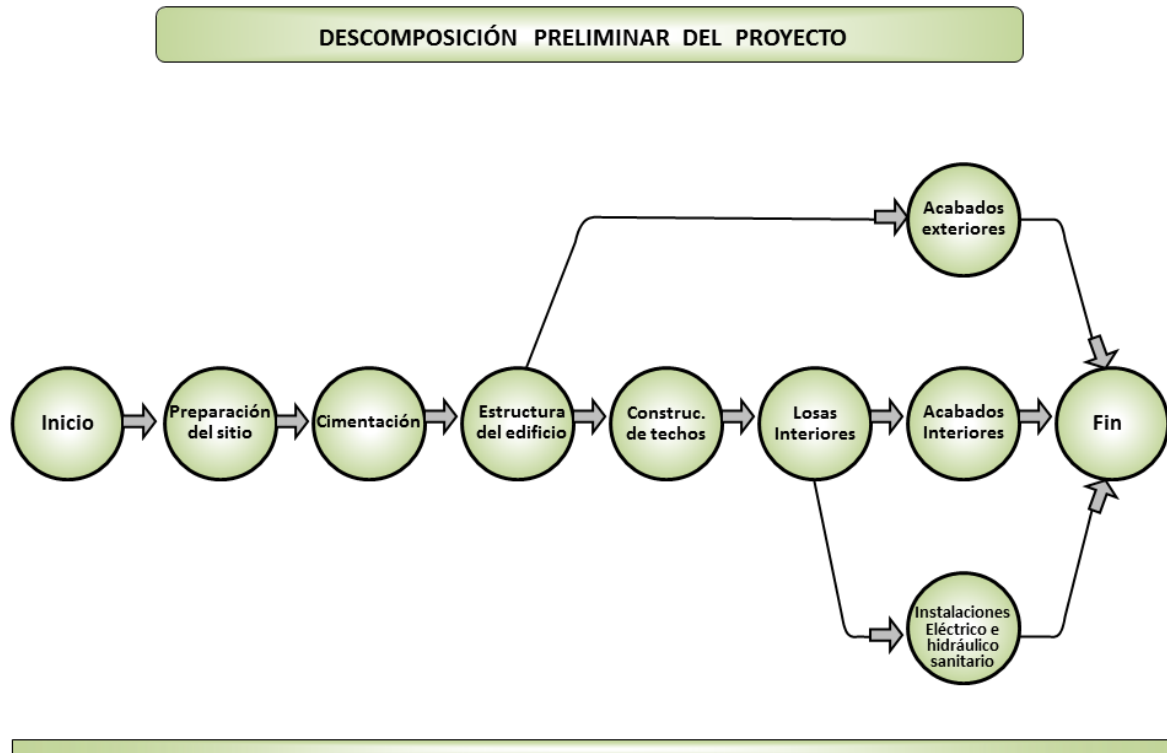


Figura 3.5 Descomposición preliminar del proyecto

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 a 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.

Herramientas de planeación de proyectos

La programación de actividades debe aportar al administrador del proyecto, un *calendario* de ejecución del proyecto donde se refleje la fecha de inicio y finalización de las distintas actividades en que se ha descompuesto el proyecto.

Para poder definir dicho calendario se hace necesario conocer la *duración de cada actividad y su orden*, así como la fecha de inicio del proyecto. De esta forma podremos crear la tabla 3.2:

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

Tabla 3.2 Datos del proyecto

La información contenida en esta tabla puede representarse gráficamente en un diagrama llamado *Diagrama de Gantt*, que es la herramienta gráfica tradicionalmente utilizada en la programación de proyectos y todavía hoy elemento indispensable para la transmisión de información en dicho campo.

Diagrama de Gantt

El *Diagrama de Gantt* no es una técnica de programación, más bien es una manera de representar el programa de obra, como resultado de aplicar un algoritmo de programación en una red; sin embargo, es generalmente utilizada, en los software de programación para representar al programa de obra, debido a su objetividad.

El nombre se debe a Henry Laurence Gantt, un ingeniero americano y científico social que lo desarrolló. Su origen se remonta a los principios de 1900 y es con frecuencia utilizado para representar proyectos.

También conocida como Carta de Gantt, es una manera de representar gráficamente el programa de un proyecto; utiliza una gráfica donde en el eje vertical se ubican las actividades y en el horizontal se tiene la escala de tiempo. El resultado es una gráfica en donde aparecen representadas todas las actividades del programa, las iniciales en la parte de abajo de la gráfica, según el tiempo próximo de inicio de la actividad y con una longitud de la barra igual a su duración.

Por último, si somos capaces de valorar los recursos, podemos utilizar la programación del proyecto para realizar la programación de los costos, conectando la planeación de proyectos con el control de costos.

Fases de la planeación de proyectos

La planeación de proyectos comprende las siguientes etapas:

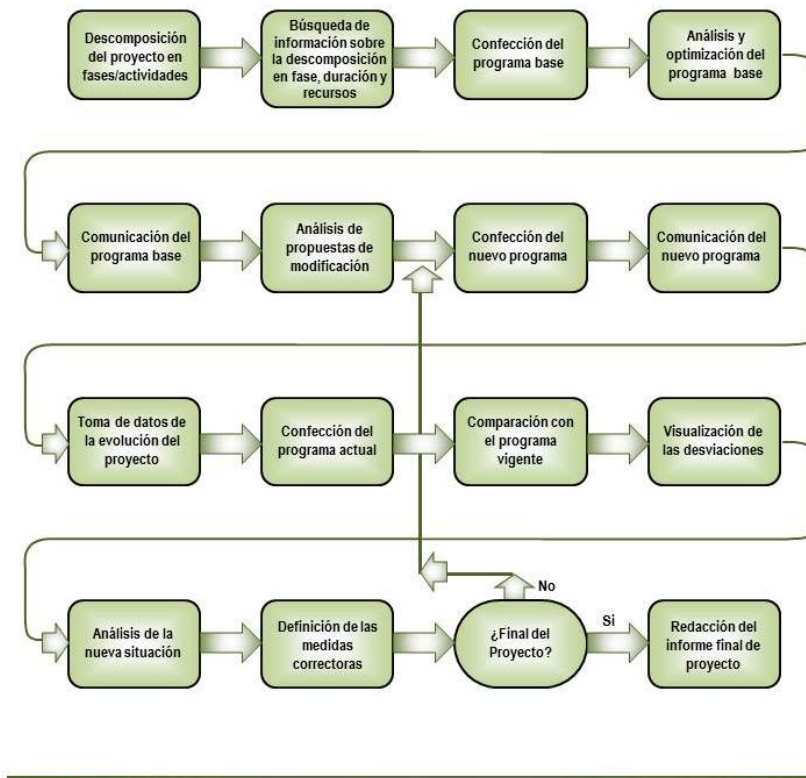


Figura 3.6 Etapas de la planeación de proyectos

La programación del proyecto aparece como una de las fases más comunes de la planeación de proyectos. Ésta es una descomposición de esta operación en sub-etapas.

Descomposición del proyecto. Hitos, Sucesos, Actividades, Tareas

Como es sabido, el proyecto (o su realización) se descompone en la ejecución de una serie de actividades, también llamadas tareas. Las actividades juegan el papel de operaciones elementales, y son las entidades que se programarán y controlarán.

El grado de finura en la descomposición del proyecto en actividades lo marcarán los objetivos de la planeación y control. Dicha descomposición exige, en general,

el uso de conocimientos de la o las tecnologías propias del proyecto, así como de las técnicas de modelización y planeación, lo que implica una interacción activa entre el programador y los técnicos.

Por motivos de operatividad, en la mayoría de las ocasiones, hacemos que las actividades comiencen y terminen en lo que denominamos sucesos. Que no son más que puntos de referencia en los programas y como tales no consumen tiempo.

En ocasiones existen sucesos por los que debe pasar todo el desarrollo del proyecto, y que además suelen tener una gran relevancia. Estos sucesos que suelen representar un salto cualitativo en el desarrollo del proyecto se denominan hitos y sus fechas suelen estar sometidas a un fuerte control.

Construcción del cronograma del proyecto

El proceso de construir el cronograma del proyecto permitirá a todo el equipo de proyecto, conocer en qué momento del proyecto se va a realizar cada actividad, quién la va a ejecutar, cuánto va a durar, etcétera. Para obtener esta información, poder controlarla y realizar los ajustes necesarios hay que seguir los siguientes pasos.

En primer lugar, se debe obtener la lista detallada de todas las actividades del proyecto; en segundo lugar, construir una secuencias lógica de cada actividad en función a sus precedencias; en tercer lugar, estimar la duración de cada tarea en función de diferentes factores y finalmente, construir el cronograma del proyecto contra el cual se podrá analizar el estado de avance en cualquier momento.

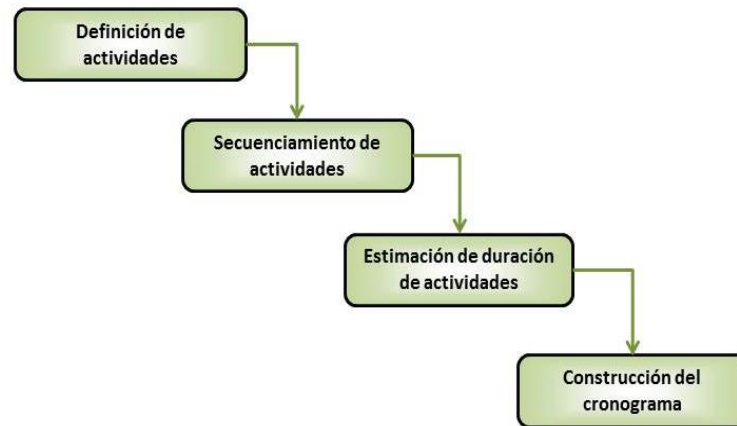


Figura 3.7 Esquema para la construcción del cronograma del proyecto

Definición de actividades

La definición de actividades de un proyecto es un proceso que incluye la descomposición de cada paquete de trabajo de la Work Breakdown Structure donde están identificados todos los elementos constitutivos de aquél.

Cada paquete de trabajo debe examinarse en forma detallada para determinar si puede descomponerse en más de una actividad individual. Esto es debido a que el WBS es una herramienta orientada a los entregables, mientras que la descomposición está orientada a las actividades.

En forma intuitiva, se puede establecer que en todo proyecto de considerarse una secuencia lógica entre las diferentes actividades que lo componen, debido a que no todas las tareas del proyecto se pueden llevar a cabo en forma paralela, ni siquiera en el caso de contar con recursos ilimitados (situación muy poco frecuente). Por ejemplo, en la construcción de una vivienda, es totalmente

imposible realizar la instalación eléctrica antes de construir las paredes, pero es posible realizar la instalación en forma paralela a la instalación de gas.

Además, acerca de este punto también es necesario tener en cuenta las restricciones que presente el proyecto, restricciones que seguramente limitaran las alternativas y los supuestos, y que deben ser consideradas porque implicaran tomar ciertos riesgos.

Entre las restricciones, se pueden mencionar las siguientes:

- La disponibilidad de recursos humanos en determinados momentos o etapas del proyecto
- Los problemas climáticos
- Temas financieros
- Etcétera

Mientras que entre los supuestos se pueden asumir como ciertos:

- Las relaciones contractuales
- La usencia de conflictos sindicales
- La disponibilidad para viajar
- Etcétera

Como paso anterior a comenzar con la secuencia de las actividades del proyecto, debe establecerse una clasificación de éstas, teniendo en cuenta las dependencias que tenga cada una. Las cuales se clasifican en:

Forzosas (Hard Logic): corresponden a actividades que tienen relación con la naturaleza propia del trabajo y no pueden modificarse. En general, representan limitaciones físicas, por ejemplo, colocar las ventanas antes de levantar las paredes.

Convenientes (Soft Logic): son dependencias establecidas por el equipo de proyecto. Se basan, normalmente, en la experiencia de proyectos previos, mejores prácticas de un área de aplicación, etc. Deben ser analizadas y documentadas detalladamente, porque implican impacto en el cronograma. Un ejemplo de este tipo de dependencias es que la capacitación en un nuevo software no comience antes de que una versión beta debidamente probada por el equipo de desarrollo este liberada.

Externas: son dependencias que, en general, dependen de acciones ubicadas fuera del proyecto. No se tiene un importante grado de control sobre estas actividades, por ejemplo la sanción de una ley, la importación de un material, etc.

Otro elemento que debe considerarse al analizar las precedencias es el orden temporal en que comienzan y finalizan las actividades.

Hay cuatro tipos de dependencia temporal, citados a continuación.

Finish to Start

Este caso es el más común, y significa que una tarea debe finalizar para que la otra pueda comenzar. La tarea B no puede comenzar hasta que la tarea A haya concluido.

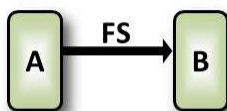


Figura 3.8 Dependencia Finish to Start

Finish to Finish

En este caso, una tarea no puede finalizar hasta que la tarea predecesora no haya terminado. La tarea A no puede finalizar hasta que la tarea B haya concluido.

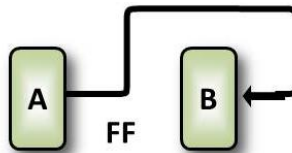


Figura 3.9 Dependencia Finish to Finish

Start to Start

En este tipo de secuencia, una actividad no puede comenzar en tanto que la otra no haya comenzado. Por ejemplo no es posible comenzar la excavación de una zanja hasta no iniciar la rotura del pavimento.

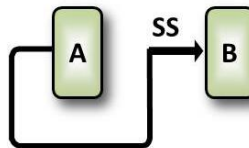


Figura 3.10 Dependencia Start to Start

Start to Finish

En este tipo de procedencia, una actividad no puede finalizar mientras que la otra no haya comenzado. Un ejemplo consistiría en que no se puede dar por finalizada la implementación de un sistema de software sin haber implementado una mesa de ayuda para los usuarios.

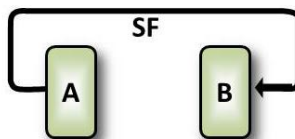


Figura 3.11 Dependencia Start to Finish

Estimación de duración de actividades

Entre el inicio de una actividad y su finalización transcurre un determinado periodo de tiempo, periodo de tiempo que no conoceremos con exactitud hasta que no finalice dicha actividad.

Si planear es fundamentalmente prever, se hace imprescindible realizar una estimación del tiempo que transcurrirá entre el inicio y el final de cada una de las actividades que componen el proyecto al objeto de confeccionar el programa del proyecto "a priori".

Diagrama de red

Al construir y unir las precedencias de todas las actividades del proyecto se crea una *Red de actividades*, donde, en forma gráfica se pueden observar todas las actividades y sus dependencias.

El nivel de detalle de esta red puede ser de dos tipos:

- *Completo*: se incluyen todas las actividades del proyecto.
- *Actividades sumarias*: (también llamadas Hammock) donde una actividad representa un grupo de actividades a los efectos de construir la red.

Ruta crítica

El camino que determina la duración del proyecto se denomina *Ruta Crítica*, y a las actividades que forman parte de este camino *Actividades Críticas*.

Dicho de otra forma, serán actividades críticas todas aquellas en las que un retraso en su ejecución, signifique un retraso en la fecha de finalización del proyecto. Por esta característica las actividades críticas deben estar sometidas a un especial control que evite retrasos.

Durante el desarrollo de un proyecto puede ocurrir que demoras en la realización de algunas actividades cambien el camino crítico, con lo que actividades que anteriormente no eran críticas en un instante dado, pasarán a ser críticas y a necesitar de un control adicional.

En función del retraso que pueda acumular una actividad sin que pase a ser crítica, podemos definir un orden de criticidad de las actividades, este índice de criticidad es otra forma de llamar a la holgura de las actividades.

Holgura

Es el tiempo de flexibilidad que se tiene en el cronograma. Hay 3 tipos de holgura:

Holgura Total: Es el principal tipo de holgura, y se define como la cantidad de tiempo que una actividad se puede retrasar, sin retrasar con ello la fecha de finalización del proyecto o un hito intermediario.

Holgura Libre: Es la cantidad de tiempo que una actividad se puede retrasar, sin retrasar con ello la fecha de inicio más temprano de su sucesor(es).

Holgura del proyecto: Es la cantidad de tiempo que un proyecto se puede retrasar, sin retrasar con ello la fecha de finalización impuesta externamente para el proyecto por el cliente o gerencia, o comprometido previamente por el administrador del proyecto.

Las actividades de la ruta crítica siempre tienen *Holgura Total* y *Libre* igual a cero, y si estas actividades se retrasan o tuvieron fechas impuestas podrían resultar en holguras del proyecto negativas.

La holgura es un activo, y es extremadamente útil que el administrador del proyecto lo entienda.

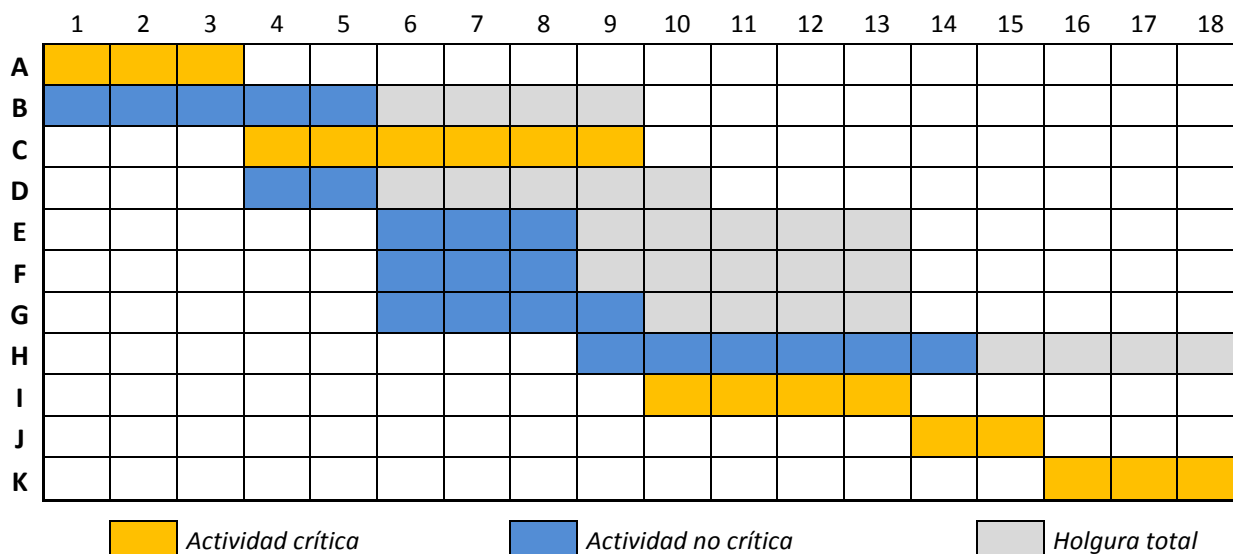


Figura 3.12 Esquema de un Diagrama de Gantt

Calendario de ejecución

Los anteriores conceptos proporcionan una información de gran utilidad para que el responsable encargado de la ejecución del proyecto pueda optimizar sus recursos. Pero el instrumento operativo de cara a la definición ejecución del proyecto es el *Calendario de ejecución*.

En este calendario, que también puede tener representación gráfica mediante un diagrama de Gantt, se definen las fechas previstas de inicio y finalización de las distintas actividades, al día de la fecha. Los datos pueden presentarse de manera tabular, como se observa en la tabla 3.3.

CALENDARIO DE EJECUCIÓN			
CÓDIGO	ACTIVIDAD	FECHA DE COMIENZO	FECHA DE FINALIZACIÓN
A	Preliminares	03/09/2012	10/09/2012
B	Cimentación	03/09/2012	24/09/2012
C	Estructura de concreto	24/09/2012	05/11/2012
D	Muros de tabique	05/11/2012	19/11/2012
E	Fabricación de herrería	10/09/2012	01/10/2012
F	Colocación de herrería	19/11/2012	26/11/2012
G	Fabricación de cancelería	10/09/2012	01/10/2012
H	Colocación de cancelería	03/12/2012	10/12/2012
I	Instalaciones	19/11/2012	10/12/2012
J	Aplanados	19/11/2012	03/12/2012
K	Relleno y compactación para pisos	05/11/2012	12/11/2012
L	Pisos de concreto	19/11/2012	26/11/2012
M	Colocación de loseta	26/11/2012	10/12/2012
N	Pintura	03/12/2012	17/12/2012
O	Limpieza	17/12/2012	24/12/2012

Tabla 3.3 Calendario de ejecución

Podemos definir un calendario con más información si en él se reflejan las fechas de inicio y finalización más tempranos y más tardíos. Es necesario valorar la necesidad de esta información adicional que en ocasiones puede llevar a errores.

La validez del calendario está limitada por el periodo de tiempo entre modificaciones de la programación.

Integración del costo a las actividades. Los recursos

En el presupuesto de toda obra hay que tener en cuenta la existencia de dos tipos de costos:

- Costos directos
- Costos indirectos

Costos directos

Son los correspondientes a los distintos elementos que intervienen directamente en la ejecución de cada una de las unidades de obra. Estará constituido por:

Mano de obra
Materiales
Maquinaria

Cálculo del costo de la mano de obra:

El costo directo por mano de obra es el que se deriva de las erogaciones que hace el constructor por el pago de salarios reales al personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo de que se trate, incluyendo al primer mando, entendiéndose como tal hasta la categoría de cabo o jefe de una cuadrilla de trabajadores. No se considerarán dentro de este costo, las

percepciones del personal técnico, administrativo, de control, supervisión y vigilancia que corresponden a los costos indirectos.

El costo de la mano de obra se obtendrá de la expresión:

$$Mo = \frac{Sr}{R}$$

Donde:

“Mo” Representa el costo por mano de obra.

“Sr” Representa el salario real del personal que interviene directamente en la ejecución de cada concepto de trabajo por jornada de ocho horas, salvo las percepciones del personal técnico, administrativo, de control, supervisión y vigilancia que corresponden a los costos indirectos. Incluirá todas las presentaciones derivadas de la Ley Federal del trabajo, la Ley del Seguro Social, Ley del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los trabajadores o de los Contratos Colectivos de Trabajo en vigor.

“R” Representa el rendimiento, es decir, la cantidad de trabajo que desarrolla el personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo por jornada de ocho horas. Para realizar la evaluación del rendimiento, se deberá considerar en todo momento el tipo de trabajo a desarrollar y las condiciones ambientales, topográficas y en general aquellas que predominen en la zona o región donde se ejecuten.

El costo por mando intermedio (Primer mando)

Las cuadrillas o grupos de obreros necesarios para realizar una actividad determinada están integradas por el o los elementos que ejecutan el trabajo

directamente, por el elemento de vigilancia o mando intermedio (cabo o jefe de cuadrilla de trabajo), así como por la herramienta de la cual se auxilian para ejecutar el trabajo.

El factor que debe aplicarse a la mano de obra por concepto de primer mando depende de la magnitud de la construcción. Se puede aplicar el criterio del porcentaje sobre la mano de obra o bien por la capacidad de vigilancia que pudiera tener el cabo y el maestro propiamente. En la tabla 3.4 aparecen los porcentajes y las capacidades de según el tipo de obra.

TIPO DE OBRA	% SOBRE LA MANO DE OBRA	NO. PROMEDIO DE TRABAJADORES	CAPACIDAD DEL CABO
Obra pequeña menor de 700 m ² de construcción	12	20	20 personas
Obra mediana entre 700 y 3500 m ² de construcción	8	60	20 personas
Obra grande mayor de 3500 m ² de construcción	4	120 ó más	20 personas

Tabla 3.4 Factor de mano de obra por concepto de primer mando

Los rendimientos de las cuadrillas de trabajo

El rendimiento de una cuadrilla de trabajo es la cantidad que desarrolla el personal que interviene directamente en la ejecución del concepto de trabajo por jornada de ocho horas. Para realizar la evaluación del rendimiento, se deberá considerar en todo momento el tipo de trabajo a desarrollar, las condiciones ambientales, topográficas y en general aquellas que predominen en la zona o región donde se ejecuten.

Costo directo por materiales

El costo directo por materiales es el correspondiente a las erogaciones que hace el contratista para adquirir o producir todos los materiales necesarios para la correcta ejecución de los trabajos, que cumpla con las normas de calidad y las especificaciones generales y particulares de construcción requeridas.

Los materiales que se usen podrán ser permanentes o temporales, los primeros son los que se incorporan y forman parte de la obra; los segundos son los que se utilizan en forma auxiliar y no pasan a formar parte integrante de la obra. En este último caso se deberá considerar el costo en proporción a su uso.

El costo unitario por concepto de materiales se obtendrá de la expresión:

$$M = P_m * C_m$$

Donde:

“*M*” Representa el costo por materiales.

“*P_m*” Representa el costo básico unitario vigente de mercado, que cumpla con las normas de calidad especificadas para los trabajos de que se trate y que sea el más económico por unidad del material, puesto en el sitio de los trabajos. El costo básico unitario del material se integrará sumando el precio de adquisición en el mercado, los acarreos, maniobras, almacenajes y mermas aceptables durante su manejo. Cuando se usen materiales producidos en la obra, la determinación del precio básico unitario será motivo del análisis respectivo.

“*C_m*” Representa el consumo de materiales por unidad de medida del concepto de trabajo. Cuando se trate de materiales permanentes,

“Cm” se determinará de acuerdo con las cantidades que deben utilizarse según el proyecto, las normas de calidad y especificaciones generales y particulares de construcción, considerando adicionalmente los desperdicios y el número de usos con base en el programa de ejecución, en la vida útil del material de que se trate y en la experiencia.

Costo directo por maquinaria o equipo de construcción

El costo directo por maquinaria o equipo de construcción es el que se deriva del uso correcto de las máquinas o equipos adecuados y necesarios para la ejecución de los trabajos, de acuerdo con lo estipulado en las normas de calidad y especificaciones generales y particulares conforme al programa de ejecución convenido.

El costo por maquinaria o equipo de construcción, es el que resulta de dividir el importe del costo horario de la hora efectiva de trabajo, entre el rendimiento de dicha maquinaria o equipo en la misma unidad de tiempo. Incluyen los siguientes conceptos:

Cargos por operación

- Salarios de operación

Cargos por consumos

- Combustibles
- Lubricantes
- Llantas
- Piezas especiales

Cargos fijos

- Depreciación
- Inversión

- Seguros
- Mantenimiento

Costos indirectos

Los costos indirectos corresponden a los gastos generales necesarios para la ejecución de los trabajos no incluidos en los costos directos que realiza el constructor, tanto en sus oficinas centrales como en la obra, y comprende entre otros: los gastos de administración, organización, dirección técnica, vigilancia, supervisión, construcción de instalaciones generales necesarias para realizar los trabajos, el transporte de la maquinaria o equipo de construcción, imprevistos y, en su caso, prestaciones laborales y sociales correspondientes al personal directivo y administrativo.

Para su determinación, se deberá considerar que el costo correspondiente a las oficinas centrales del constructor, comprenderá únicamente los gastos necesarios para dar apoyo técnico y administrativo a la superintendencia del constructor, encargada directamente de los trabajos. En el caso de los costos indirectos de oficinas de campo se deberán considerar todos los conceptos que de él se deriven.

Los gastos generales que podrán tomarse en consideración para integrar el costo directo y que pueden aplicarse indistintamente a la administración de oficinas centrales a la administración de oficinas de campo o ambas, según el caso, son los siguientes:

- I. Honorarios, sueldos y prestaciones de los siguientes conceptos:
 - a) Personal directivo;
 - b) Personal técnico;
 - c) Personal administrativo;

- d) Cuota patronal del seguro social y del Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores;
- e) Prestaciones a que obliga la Ley Federal del Trabajo para el personal enunciado en los incisos a), b) y c) de esta fracción;
- f) Pasajes y viáticos del personal enunciado en los incisos a), b) y c) de esta fracción, y
- g) Los que deriven de la suscripción de contratos de trabajo para el personal enunciado en los incisos a), b) y c) de esta fracción;

II. Depreciación, mantenimiento y rentas de los siguientes conceptos:

- a) Edificios y locales;
- b) Locales de mantenimiento y guarda;
- c) Bodegas;
- d) Instalaciones generales;
- e) Equipos, muebles y enseres;
- f) Depreciación o renta, y operación de vehículos, y
- g) Campamentos;

III. Servicios de los siguientes conceptos:

- a) Consultores, asesores, servicios y laboratorios, y
- b) Estudios e investigaciones;

IV. Fletes y acarreos de los siguientes conceptos:

- a) Campamentos;
- b) Equipo de construcción;
- c) Plantas y elementos para instalaciones, y
- d) Mobiliario;

V. Gastos de oficina de los siguientes conceptos:

- a) Papelería y útiles de escritorio;

- b) Correo, fax, teléfonos, telégrafos, radio y otros gastos de comunicaciones;
- c) Equipo de computación;
- d) Situación de fondos;
- e) Copias y duplicados;
- f) Luz, gas y otros consumos, y
- g) Gastos de la licitación pública;

VI. Capacitación y adiestramiento;

VII. Seguridad e higiene;

VIII. Seguros y fianzas, y

IX. Trabajos previos y auxiliares de los siguientes conceptos:

- a) Construcción y conservación de caminos de acceso;
- b) Montajes y desmantelamientos de equipo, y
- c) Construcción de las siguientes instalaciones generales:
 - 1. Campamentos;
 - 2. Equipo de construcción, y
 - 3. Plantas y elementos para instalaciones.

Tipos de recursos

Los recursos pueden ser de tres tipos:

Recursos Humanos

En este apartado entran a formar parte todo el personal que de una manera directa o indirecta va a afectar al desarrollo del proyecto y sobre los cuales va a

recaer alguna labor o tarea específica del proyecto y que habrá que valorar su costo tal como hemos visto anteriormente.

La mayor variable en el costo final de un proyecto de construcción usualmente es el costo de la mano de obra, ya que los otros elementos de costo (materiales, equipo e indirectos) pueden predecirse o establecerse con una precisión razonable si el proyecto está correctamente planeado y estimado. El costo de la mano de obra está en función de las horas trabajadas, de la productividad de los trabajadores y la utilización de las horas extras. El costo por hora hombre es fácil de predecir, la productividad es a que realmente varía. Por ello, el responsable de la obra deberá monitorear las horas hombre invertidas y la productividad como elemento importante en el programa de control de costos.

Para establecer un control efectivo de mano de obra es necesario contar con un sistema automatizado que nos permita:

1. Agrupar al personal que trabaja directamente en las actividades que representan avance por jefe de área.
2. Recopilaciones diarias de las horas hombre consumidas clasificándolas por actividades las cuales están dentro del WBS.
3. Determinación de los costos de mano de obra en tiempo normal de trabajo y tiempo extra.
4. Separación de la tomaduría de tiempo y contabilidad de la nómina para las medidas exactas de productividad.

Recursos Materiales

Bajo este epígrafe se encuentran todos los materiales, tales como, cemento, agregados, aceros, cables eléctricos, pinturas, recubrimientos, etc. que se requieran para llevar a efecto una actividad en sí misma.

Recursos de equipo

Aquí, entran a formar parte todos aquellos equipos auxiliares que pueden ayudar a al personal para elaborar una tarea o actividad, como por ejemplo, un equipo de soldadura, una retroexcavadora, un taladro, una computadora, etc.

3.5 CPM (Critical Path Method)

CPM (Critical Path Method, Método de la Trayectoria Crítica) fue desarrollado en el periodo 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.

Las etapas básicas que se utilizan en CPM son:

1. Identificar todas las tareas o actividades asociadas con el proyecto. En esta etapa de planeación del proyecto, es fundamental la utilización de SOW (Statement Of Work, Descripción del Trabajo) y de WBS (Work Breakdown Structure, Estructura de Descomposición del Trabajo), ya que son las herramientas que permiten, por una parte, describir el proyecto en una forma narrativa y general lo que facilita la comprensión acerca del proyecto a todas las personas o instituciones asociadas con él; y por otra, permite establecer las actividades, su secuencia y el presupuesto del proyecto.
2. Identificar las relaciones de precedencia inmediata para todas las actividades. Esta etapa es muy importante, ya que todos los cálculos futuros y los programas finales del proyecto dependen de esas actividades y sus relaciones. Para una actividad determinada, deben determinarse todas las precedencias inmediatas antes de poder comenzar esa actividad.

Con frecuencia, la identidad de las relaciones de precedencia puede resultar evidente pero es importante que sean completas y precisas. La omisión, así como la inclusión de una actividad precedente puede distorsionar en gran medida las relaciones generales entre las actividades. En lugar de las relaciones de precedencia, también puede utilizarse una matriz de secuencias. En esta matriz se indican:

- i. Qué actividades deben seguir inmediatamente de una actividad.
 - ii. Qué actividades deben terminarse antes de que esta actividad pueda comenzar.
 - iii. Qué actividades deben efectuarse simultáneamente con esta actividad.
3. Dibujar la red que representa al proyecto. Para representar a un proyecto por medio de una red, se debe conocer que actividades, componen al proyecto, y para cada actividad, cuáles son sus predecesores (y/o sucesores). Una actividad puede estar en cualquiera de las formas siguientes:
1. Puede tener un sucesor (es) pero no predecesor (es),
 2. Puede tener un predecesor (es) pero no tener sucesor (es),
 3. Puede tener ambos, predecesores y sucesores.

La primera es una actividad que inicia a la red, la segunda termina la red y la tercera es una actividad intermedia.

4. Estimar el tiempo de duración para cada actividad. Para evaluar el tiempo de ejecución de cada actividad, se puede utilizar:

$$JG = CO / RG$$

Donde, JG = jornadas por grupos

CO = cantidad de obra

RG = rendimiento del grupo

Por lo que la duración de cada actividad, dependerá del número de grupos que eficientemente puedan asignarse a la actividad en estudio, tomando muy en cuenta las limitaciones de espacio y de personal; así, la duración normal de una actividad (DN) será:

$$DN = JG / NG$$

Donde, DN = jornadas necesarias por grupo

NG = número de grupos que pueden trabajar simultáneamente

Resumiendo y de forma tabular se puede utilizar la tabla 3.5:

Actividad	Descripción de la actividad	Unidad	Cantidad de obra	Grupo	RG	JG	NG	DN	DN
B	Excavación	M3	25	1	2	1	3	4.16	4

Tabla 3.5 Cálculo de la duración de una actividad

- En el diagrama de nodos de red, se procede a calcular los tiempos próximos de inicio (TPI) y los tiempos próximos de terminación (TPT) de todas las actividades, en una revisión hacia adelante en la red. Para el cálculo del TPI, se iniciará con cero en todas las actividades de la red que no tienen precedencia y el TPT será la suma de este TPI más la duración de la actividad. Para las siguientes actividades se trasladará este TPT de la actividad anterior como su TPI; cuando una actividad tenga más de una actividad precedente, se seleccionara la marca de mayor valor.
- En esta etapa se revisa la red hacia atrás; se asigna como tiempo lejano de terminación (TLT) la última marca determinada en la revisión hacia adelante (duración del proyecto), a todas las actividades finales del proyecto se

calcula el tiempo lejano de inicio (TLI) restando a este valor de TLT la duración de la actividad. Para obtener el TLT de la actividad precedente, se trasladará este TLT; en el caso de poder marcar con más de una actividad, se seleccionará la marca de menor valor.

7. Calcular las holguras de cada actividad. La holgura total (HT) será la diferencia entre TPI y TLI de cada actividad (una actividad crítica tiene $HT=0$ y $HL=0$). Para calcular la holgura libre (HL) de una actividad i, se considerará la expresión:

$$HL (i) = TPI (j) - D (i) - TPI (i)$$

Donde, j es la actividad delate de la actividad i.

En el caso que la actividad j sea más de una, se considerará el TPI(j) de menor valor.

8. Identificar la ruta crítica del proyecto. La ruta crítica está compuesta por todas las actividades críticas del proyecto. Una actividad es crítica cuando su holgura total es igual a cero (y obviamente también es cero su holgura libre).
9. La información obtenida se debe reflejar en una tabla de resultados que contenga los tiempos y las holguras de cada actividad y en un diagrama de Gantt o de barras que permitirá tener una representación gráfica para efectos de control del proyecto.

Ejemplo con CPM

Programar el siguiente proyecto de construcción, en el que se especifica la matriz de precedencias y la duración de las actividades del proyecto.

ACTIVIDADES INMEDIATAS SIGUIENTES ACTIVIDADES INMEDIATAS PRECEDENTES	A Preliminares	B Cimentación	C Estructura de concreto	D Muros de tabique	E Fabricación de herrería	F Colocación de herrería	G Fabricación de cancelería	H Colocación de cancelería	I Instalaciones	J Aplanados	K Relleno y compactación para pisos	L Pisos de concreto	M Colocación de loseta	N Pintura	O Limpieza
A Preliminares		✓													
B Cimentación			✓												
C Estructura de concreto				✓							✓				
D Muros de tabique					✓	✓			✓						
E Fabricación de herrería						✓									
F Colocación de herrería							✓								
G Fabricación de cancelería								✓							
H Colocación de cancelería														✓	
I Instalaciones										✓					
J Aplanados						✓		✓		✓				✓	
K Relleno y compactación para pisos												✓			
L Pisos de concreto													✓		
M Colocación de loseta														✓	
N Pintura															✓
O Limpieza															

Tabla 3.6 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

Tabla 3.7 Proyecto de construcción edificio

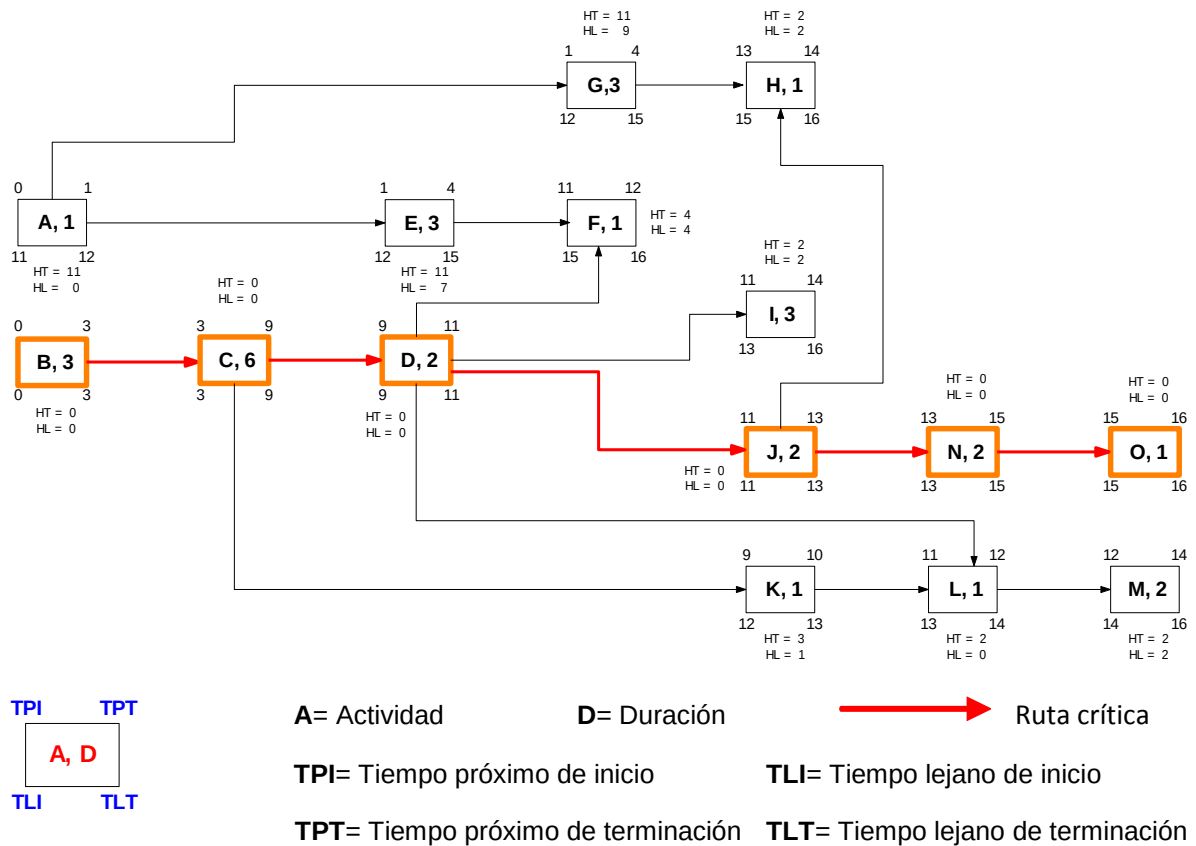


Figura 3.13 Diagrama de nodos con aplicación de CPM

CÓDIGO	PRECEDENCIA	DURACIÓN, SEMANAS	TIEMPO PRÓXIMO		TIEMPO LEJANO		HOLGURA	
			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

Tabla 3.8 Resumen de resultados

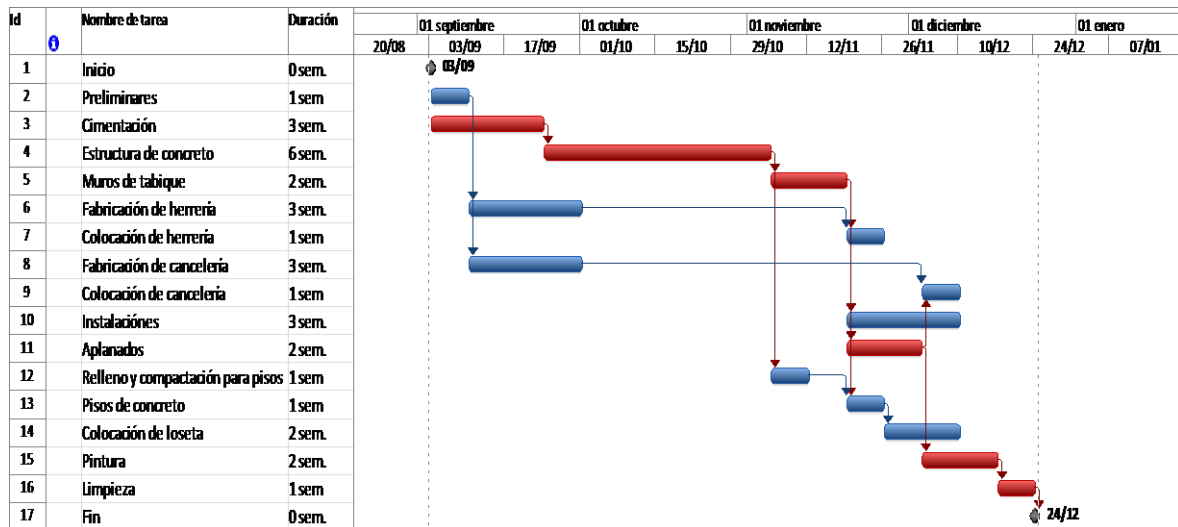


Figura 3.14 Diagrama de Gantt del proyecto (Project de Microsoft®)

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 requerida. *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 3.14 a)
- La actividad A debe terminarse al menos 3 días antes de terminar la actividad B (Figura 3.14 b)
- La actividad B no puede iniciar antes de 4 días de terminar A (Figura 3.14 c)
- La actividad B no puede terminarse antes de 8 días del inicio de A (Figura 3.14 d).

Se pueden distinguir cuatro diferentes relaciones entre actividades:

Relación (Finish-Start)

Relaciona el final de la actividad precedente A con el inicio de la actividad siguiente B. Indica que la actividad siguiente no puede iniciar hasta que la precedente haya concluido. Si se requiere, se coloca la duración en el arco para indicar que la actividad siguiente no inicia hasta que no pase un tiempo dado después de que la precedente haya terminado.

Relación (Start - Start)

Relaciona el inicio de la actividad precedente A con el inicio de la actividad siguiente B. Indica que la actividad siguiente no puede iniciar hasta que ha transcurrido un tiempo desde el inicio de la actividad precedente más cualquier duración dada. La duración en el arco denota el retraso entre el inicio de las actividades A y B.

Relación (Finish - Finish)

Relaciona el final de la actividad precedente A con el final de la actividad siguiente B. Indica que la actividad siguiente no puede terminar hasta que termine la actividad precedente más cualquier otra duración dada. El tiempo próximo de inicio de la actividad siguiente B no es necesariamente afectado por esta estación.

Relación (Start - Finish)

Relaciona el inicio de la actividad precedente A con el final de la actividad siguiente más cualquier duración dada. El tiempo próximo de inicio de la actividad siguiente B no será afectado por la relación. Una duración en el arco indica que la actividad B no puede terminar hasta que inicie A más la duración dada.

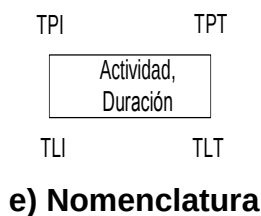
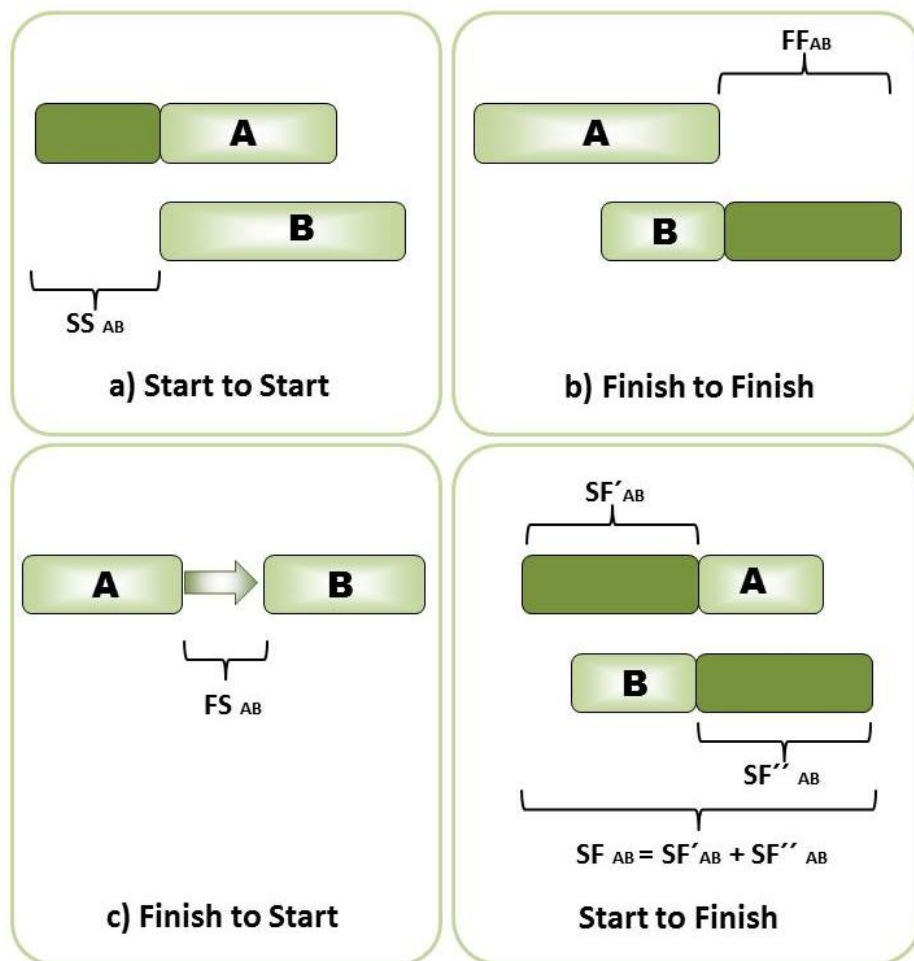


Figura 3.15 Convenciones en un diagrama de precedencias

En la figura 3.15e se muestran los tiempos asociados con el inicio y término de cada actividad, en la parte superior los tiempos próximos y abajo los tiempos lejanos. El significado de los tiempos es:

TPI= Tiempo próximo de inicio

TPT= Tiempo próximo de terminación

TLI= Tiempo lejano de inicio

TLT= Tiempo lejano de terminación

Cálculo de los tiempos

En las redes de precedencia el cálculo de los tiempos próximos y lejanos de inicio y terminación son más complicados que para redes de flechas. En la tabla 3.9 se observan las reglas a seguir para el cálculo:

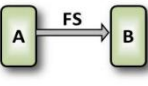
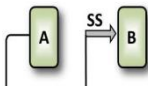
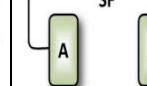
Tiempo	Para la actividad TPI TPT A, D TLI TLT	Para las relaciones			
					
TPI Tiempo Próximo Inicio	El más reciente TPT de la relación precedente SS o FS	TPT de la actividad precedente	TPI de la actividad precedente	TPT de la actividad precedente	TPI de la actividad precedente
TPT Tiempo Próximo Terminación	El más reciente de cualquier TPI + duración, o el más reciente TPT de cualquier relación SF o FF terminando en la actividad	TPI + duración	TPI + duración	TPI + duración	TPI + duración
TLI Tiempo Lejano Inicio	El último de cualquier TLT – duración o el último TLI de las relaciones SS o SF delante de la actividad	TLT – duración	TLT – duración	TLT – duración	TLT – duración
TLT Tiempo Lejano Terminación	El último TLI de cualquier relación FS o FF adelante de la actividad	TLI de la actividad siguiente	TLI de la actividad siguiente	TLT de la actividad siguiente	TLT de la actividad siguiente
HT Holgura Total	TLI - TPI	TLI - TPI			
HL Holgura Libre	Menor HL de cualquier relación delante de la actividad. Todas las actividades del final tienen HL=HT	TPI de la actividad siguiente – TPT de la relación	TPI de actividad siguiente – TPT de la relación	TPT de la actividad siguiente – TPT de la relación	TPT de la actividad siguiente – TPT de la relación

Tabla 3.9 Determinación de los tiempos y holguras en un diagrama de precedencias

El diagrama de precedencias utiliza una *red con actividades en nodos*, que permite el adelanto y el retraso de las actividades en la red, lo cual significa un agregado en flexibilidad y en la programación de detalle que no se encuentra en otra técnica de programación.

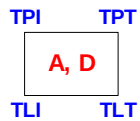
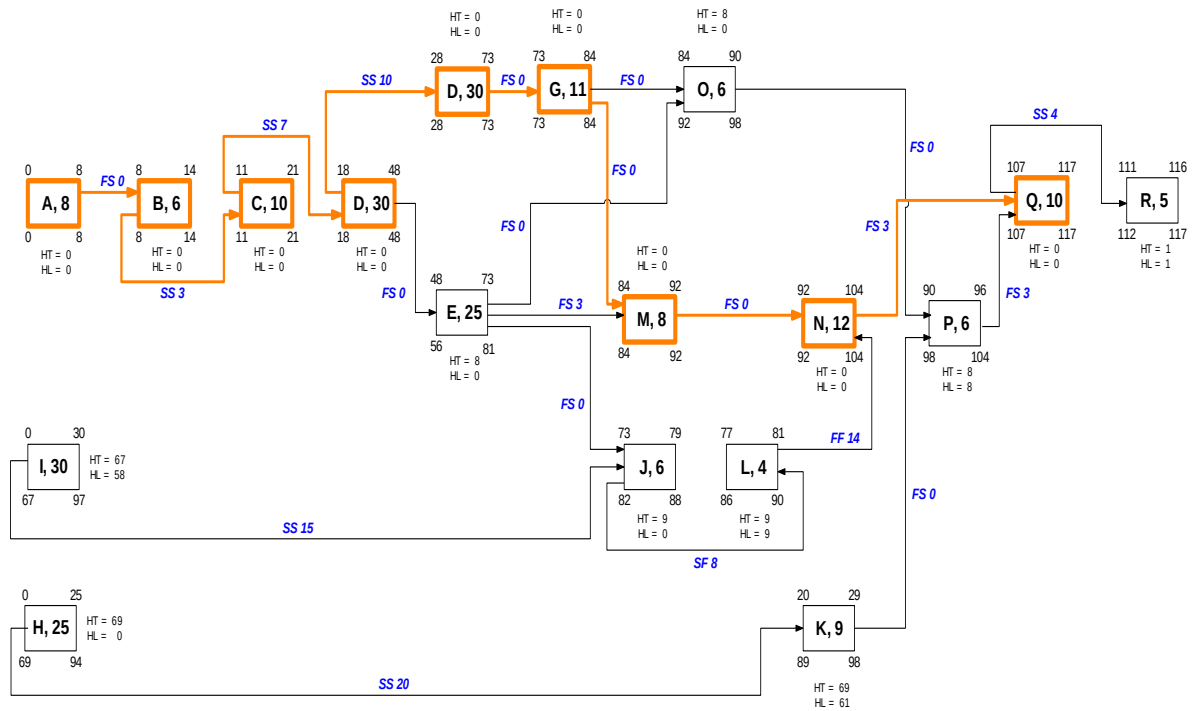
El algoritmo de cálculo es muy parecido al utilizado en *CPM (Critical Path Method)*; es decir, el *algoritmo de caminos de valor máximo* en redes, pero considerando el adelanto o retraso establecido en las actividades.

Ejemplo con PDM

En la siguiente tabla se presenta la información de un proyecto y se requiere programarlo y determinar la ruta crítica, utilizando la técnica de PDM (Precedence Diagramming Method).

Actividad		Duración, Días	Precedencia	Información adicional	Relación	Retraso
Código	Descripción					
A	A	8	-		-	-
B	B	6	A	Se inicia hasta que termina la actividad A	FS	0
C	C	10	B	Puede iniciar después de 3 días de iniciada la actividad B	SS	3
D	D	30	C	Puede iniciar después de 7 días de iniciada la actividad C	SS	7
E	E	25	D	Se inicia hasta que termina la actividad D	FS	0
F	F	45	D	Puede iniciar después de 10 días de iniciada la actividad D	SS	10
G	G	11	F	Se inicia hasta que termina la actividad F	FS	0
H	H	25	-	-	-	-
I	I	30	-	-	-	-
J	J	6	E	Se inicia hasta que termina la actividad E	FS	0
			I	Puede iniciar después de 15 días de iniciada la actividad I	SS	15
K	K	9	H	Puede iniciar después de 20 días de iniciada la actividad H	SS	20
L	L	4	J	Deben emplearse 8 días entre iniciar L y J	SF	8
M	M	8	E	Inicia 3 días después de terminar la actividad E	FS	3
			G	Se inicia hasta que termina la actividad G	FS	0
N	N	12	L	Deben emplearse 14 días entre que termina la actividad N y L	FF	14
			M	Se inicia hasta que termina la actividad M	FS	0
O	O	6	E	Se inicia hasta que termina la actividad E	FS	0
			G	Se inicia hasta que termina la actividad G	FS	0
P	P	6	K	Se inicia hasta que termina la actividad K	FS	0
			O	Se inicia hasta que termina la actividad O	FS	0
Q	Q	10	N	Inicia 3 días después de terminar la actividad N	FS	3
			P	Inicia 3 días después de terminar la actividad P	FS	3
R	R	5	Q	Puede iniciar después de 4 días de iniciada la actividad Q	SS	4

Tabla 3.10 Información del proyecto



A= Actividad

D= Duración

TPI= Tiempo próximo de inicio

TLI= Tiempo lejano de inicio

TPT= Tiempo próximo de terminación

TLT= Tiempo lejano de terminación



Ruta crítica

Figura 3.16 Red del proyecto con la aplicación de PDM y la ruta crítica

CÓDIGO	PRECEDENCIA	DURACIÓN, DÍAS	TIEMPO PRÓXIMO		TIEMPO LEJANO		HOLGURA	
			INICIO	TÉRMINO	INICIO	TÉRMINO	LIBRE	TOTAL
A	-	8	0	8	0	8	0	0
B	A	6	8	14	8	14	0	0
C	B	10	11	21	11	21	0	0
D	C	30	18	48	18	48	0	0
E	D	25	48	73	56	81	0	8
F	D	45	28	73	28	73	0	0
G	F	11	73	84	73	84	0	0
H	-	25	0	25	69	94	0	69
I	-	30	0	30	67	97	58	67
J	E, I	6	73	79	82	88	0	9
K	H	9	20	29	89	98	61	69
L	J	4	77	81	86	90	9	9
M	E, G	8	84	92	84	92	0	0
N	L, M	12	92	104	92	104	0	0
O	E, G	6	84	90	92	98	0	8
P	K, O	6	90	96	98	104	8	8
Q	N, P	10	107	117	107	117	0	0
R	Q	5	111	116	112	117	1	1

Tabla 3.11 Resumen de resultados

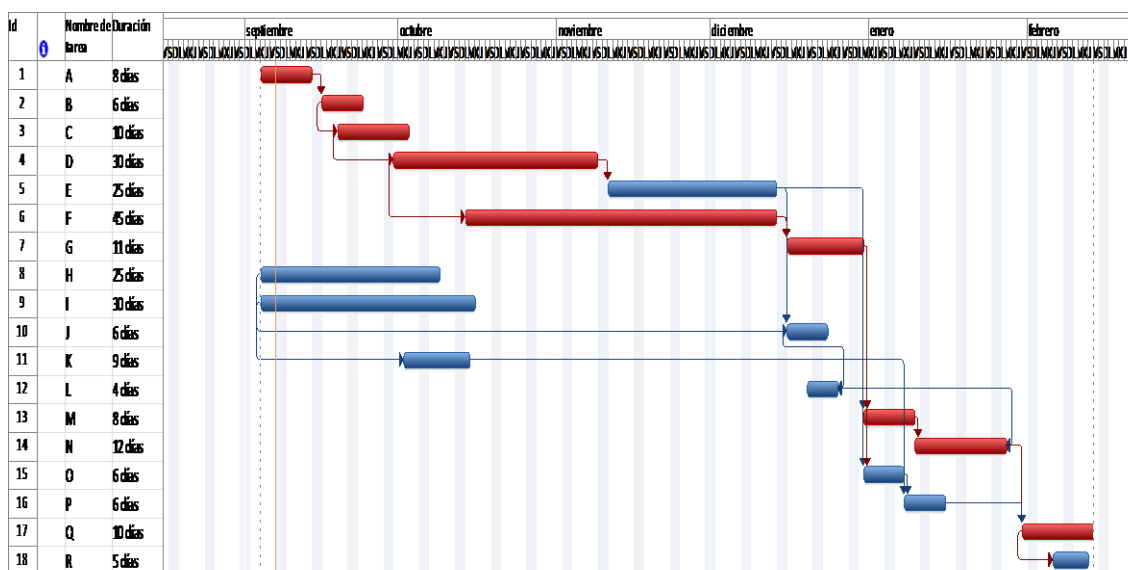


Figura 3.17 Diagrama de Gantt del proyecto (Project de Microsoft®)

4 ASIGNACIÓN Y 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. Boss¹⁰, 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, mano de obra, con el objeto de comprender el fundamento del concepto. Para la nivelación simultánea de varios recursos existen otros algoritmos como el “multi-ship, multi-shop”.

Suponiendo que diariamente las necesidades de mano de obra para cada actividad son de cinco operarios. La carga diaria se obtiene sumando los operarios necesarios para realizar las actividades programadas para cada día. Puede construirse así un *diagrama de cargas*.

¹⁰ 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.

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 4 personas y la B 3. Si las disponibilidades totales fueran de 6 personas, tendríamos unas necesidades totales superiores a las disponibilidades si técnicamente A y B se pudieran hacer de forma simultánea.

Cuando se compara 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 podemos clasificarlo 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, estamos 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 heurísticas¹¹ tradicionales que se utilizan para la nivelación de recursos en la programación de proyectos, presentan el inconveniente de no tener en cuenta todas las posibles consideraciones. La mayoría se basan en los diagramas PERT¹² o ROY¹³ en los que las únicas precedencias posibles entre las actividades son *final-comienzo*, que en muchos proyectos es insuficiente.

¹¹ Palabra moderna acuñada del verbo griego *εὐρισχῶ*= encuentro: búsqueda o arte de la búsqueda.

¹² Program Evaluation Review Technique

¹³ 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.

Otro problema detectado es que en estas técnicas, las actividades sólo tienen una duración posible, excepto en el CPM¹⁴. 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 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.

¹⁴ Critical Path Method

e) Las vacaciones de personal.

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 sí 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.

4.2 Algoritmo de asignación de recursos

1. Se dibujará el diagrama de red para la duración más corta de todas las actividades. A partir de él se obtendrá el camino crítico, y las holguras totales de todas las actividades.
2. Se irán asignando trabajadores a actividades analizando día a día, empezando en $t=0$.
3. En el tiempo (t) analizado, se establecerá qué actividades son candidatas a ser las asignadas de los recursos disponibles. Para ello, únicamente habrá que fijarse en el diagrama de red, y una actividad no podrá ser candidata hasta que todas sus actividades precedentes hayan sido asignadas y se hayan finalizado.

4. De entre las actividades candidatas, se elegirá aquella que tenga menor holgura total. Se recuerda que todas las actividades pertenecientes al camino crítico tienen una holgura igual a cero. En caso de igualdad de holgura total, se elegirá aquella actividad cuya duración más corta sea la menor. Si persistiese la igualdad, se elegirá la actividad que necesite el menor número de trabajadores en su duración más corta. Si todavía persistiese la igualdad, se elegirá una cualquiera indiferentemente.
5. Para la actividad elegida, se deberá decidir en qué duración de las posibles se va a realizar, y qué trabajadores por día se van a necesitar. La duración que tomará esa actividad será la menor de las posibles, comprobando que no se supera el número máximo de trabajadores por día ($T_{m\acute{a}x}$). Esto se realizará con ayuda de un gráfico de carga. Se volverá al paso cuatro hasta que para el tiempo (t) analizado ya no sea posible elegir ninguna actividad más debido a falta de trabajadores libres.
6. Ir al siguiente tiempo (t) en el cual alguna actividad puede empezar a ser realizada.
7. Volver a realizar el diagrama de red, teniendo en cuenta las duraciones establecidas en las actividades elegidas, el tiempo (t) en el que se encuentra y toma las mínimas duraciones para las actividades no asignadas todavía. Se vuelven a obtener el camino crítico y las holguras totales para las actividades no asignadas.
8. Volver al paso tres hasta que todas las actividades estén programadas, y se tenga ya unas fechas de inicio y fin de cada actividad, así como el gráfico de carga del proyecto.

Ejemplo de asignación de recursos

Considerar la siguiente información acerca de un proyecto en particular; se mencionan las actividades del proyecto, sus precedencias y tres opciones de cada actividad en que se varía de la duración más corta con cierto número de trabajadores, luego una duración mayor con cierto número de trabajadores y otra duración mayor que la anterior, con otro número menor de trabajadores. Esta información aparece en la tabla:

Tabla 4.1 Datos del proyecto

Actividad	Precedencia	D1, días	T1	D2, días	T2	D3, días	T3
A	-	3	4	4	3	6	2
B		5	6	6	4	7	3
C	A	6	5	7	4	8	3
D	A	2	6	1	8		
E	D	3	4	5	3	6	2
F	D	3	3	4	2		
G	B	4	5	5	4	7	3
H	F, G	5	5	6	4	8	3
I	C	4	6	5	5	6	4
J	E, I	2	4	3	3		
K	J	3	4	5	3		

Se considera que el número máximo de trabajadores por día es 7

La red del proyecto con duraciones D1 de la tabla 4.1:

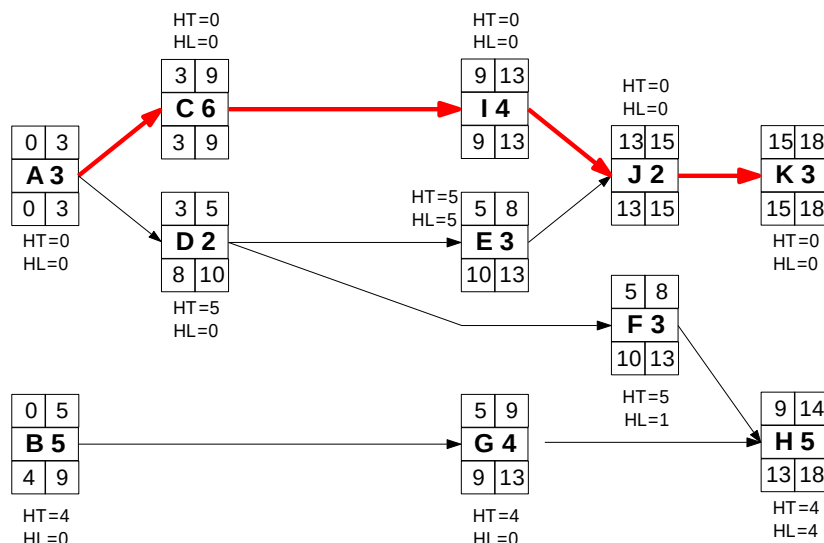


Figura 4.1 Situación inicial

		Actividades	Holgura total	Trabajadores disponibles	Selección	Duración, días	Trabajadores Por día
1	$t=0$	A	0	7	A	3	4
		B	4				

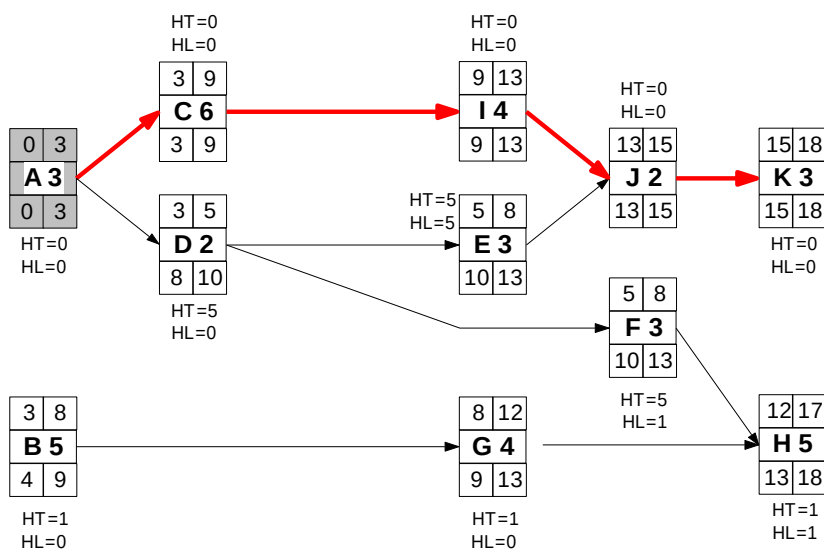
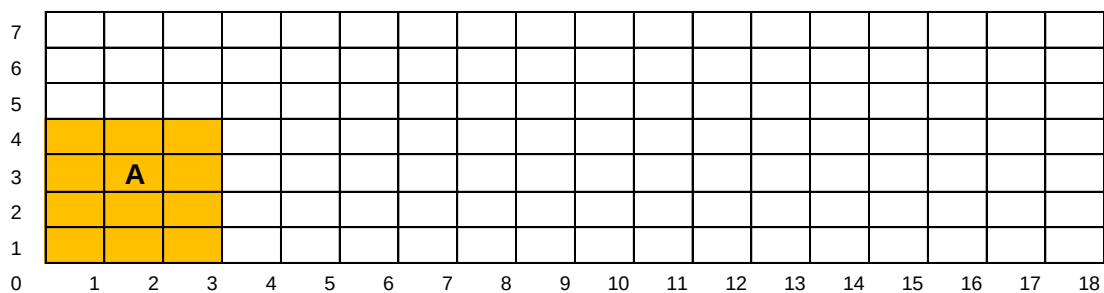


Figura 4.2 Iteración 1 en $t = 0$

		Actividades	Holgura total	Trabajadores disponibles	Selección	Duración, días	Trabajadores Por día
2	t=3	B	1	7	C	6	5
		C	0				
		D	5				

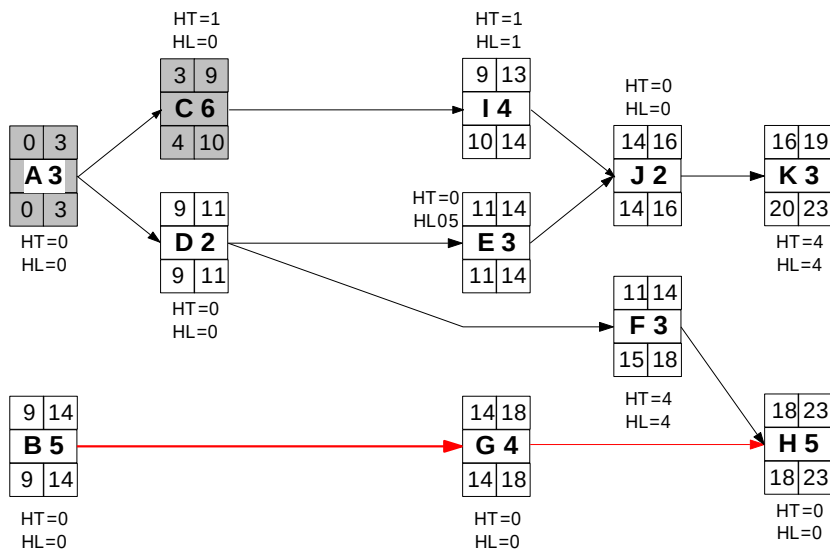
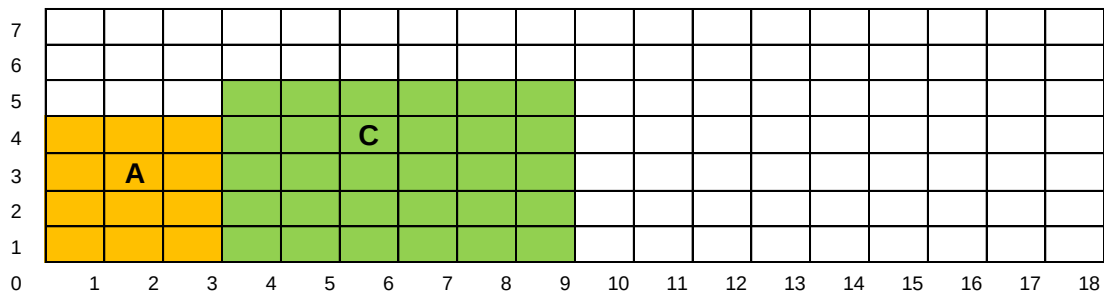


Figura 4.3 Iteración 2 en t = 3

		Actividades	Holgura total	Trabajadores disponibles	Selección	Duración, días	Trabajadores por día
3	t=9	B	0	7	D	2	6
		D	0				
		I	1				

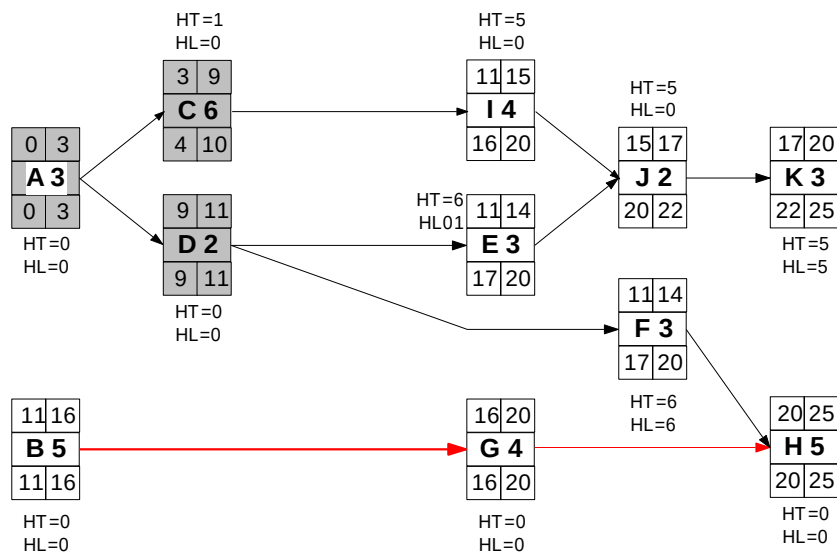
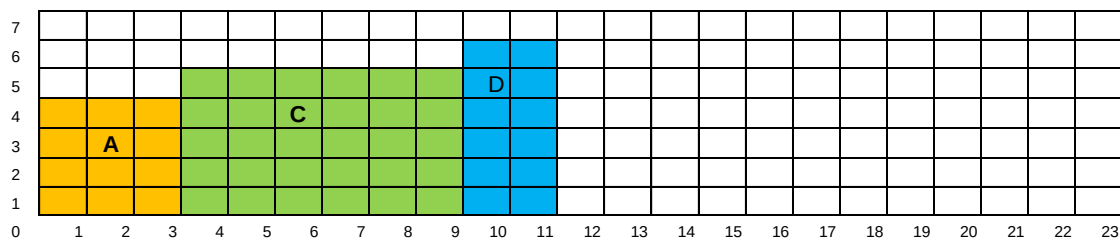


Figura 4.4 Iteración 3 en t = 9

		Actividades	Holgura total	Trabajadores disponibles	Selección	Duración, días	Trabajadores por día
4	$t=11$	B	0	7	B	5	6
		E	6				
		F	6				
		I	5				

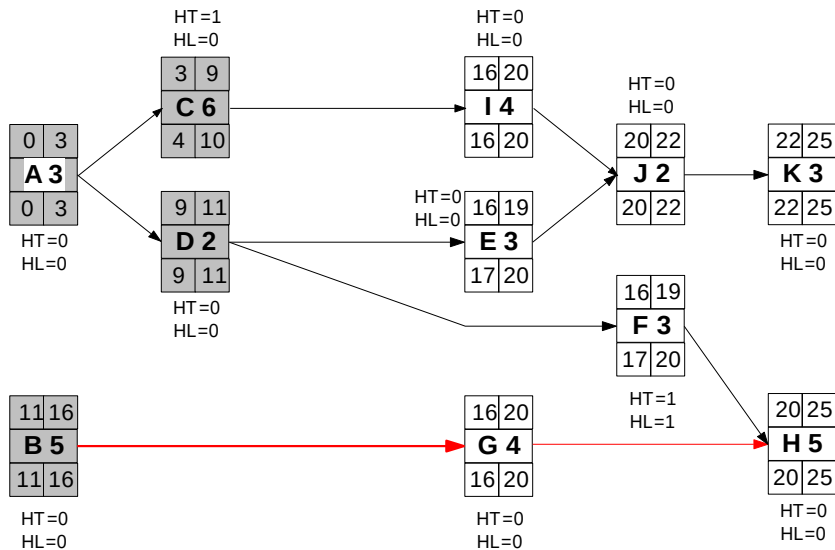
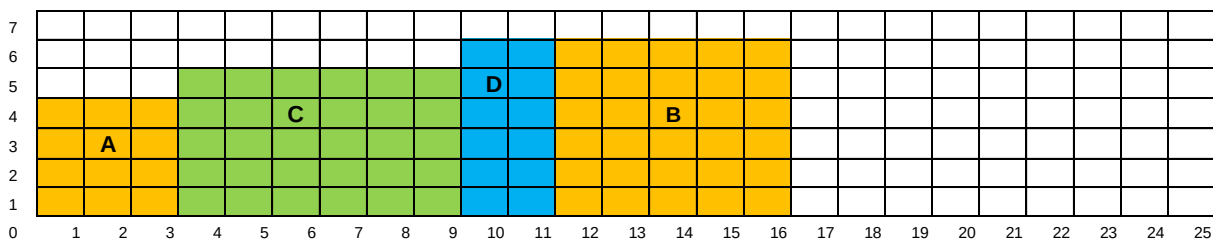


Figura 4.5 Iteración 4 en $t = 11$

		Actividades	Holgura total	Trabajadores disponibles	Selección	Duración, días	Trabajadores por día
5	t=16	E	1	7	G	4	5
		F	1				
		G	0				
		I	0				

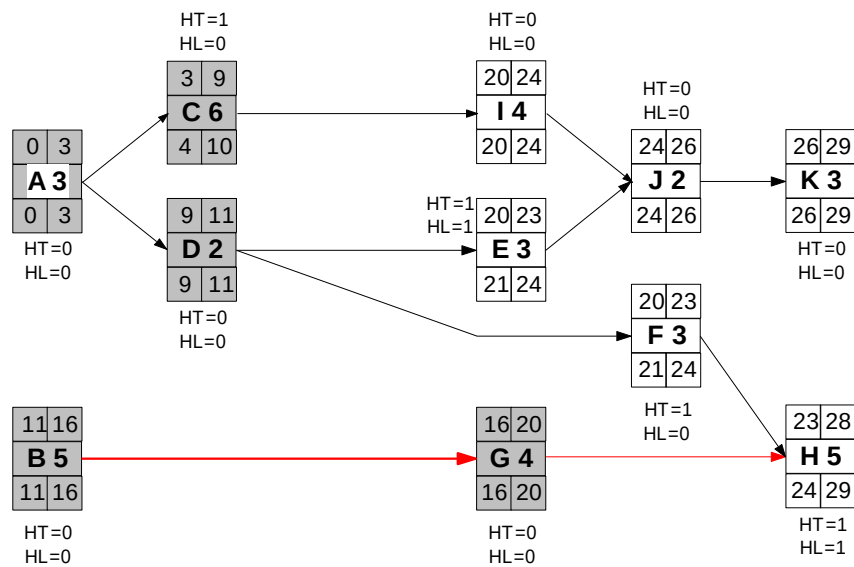
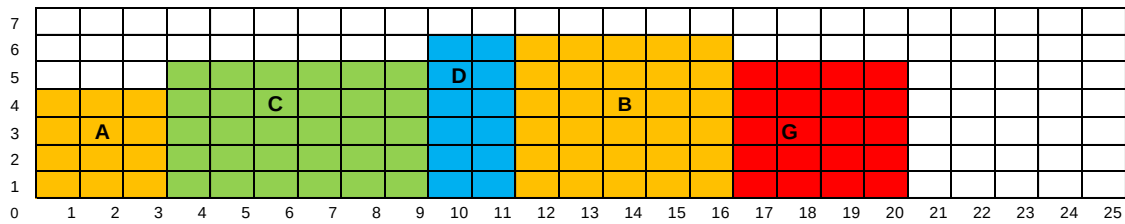


Figura 4.6 Iteración 5 en t = 16

		Actividades	Holgura total	Trabajadores disponibles	Selección	Duración, días	Trabajadores por día
6	$t=20$	I	0	7	I	4	6

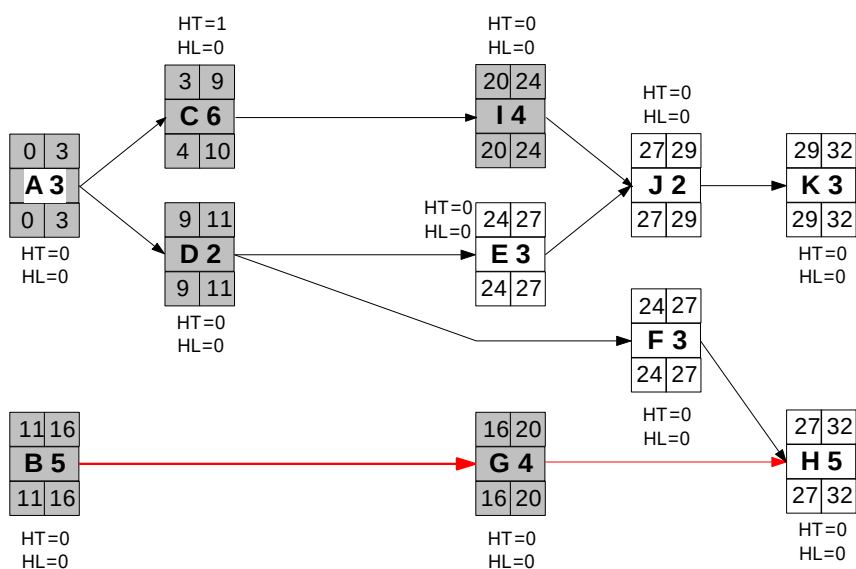
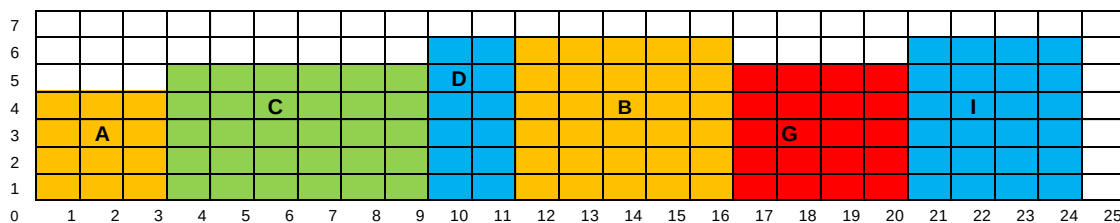


Figura 4.7 Iteración 6 en $t = 20$

		Actividades	Holgura total	Trabajadores disponibles	Selección	Duración, días	Trabajadores Por día
7	t=24	E	0	7	E	3	4
		F	0				

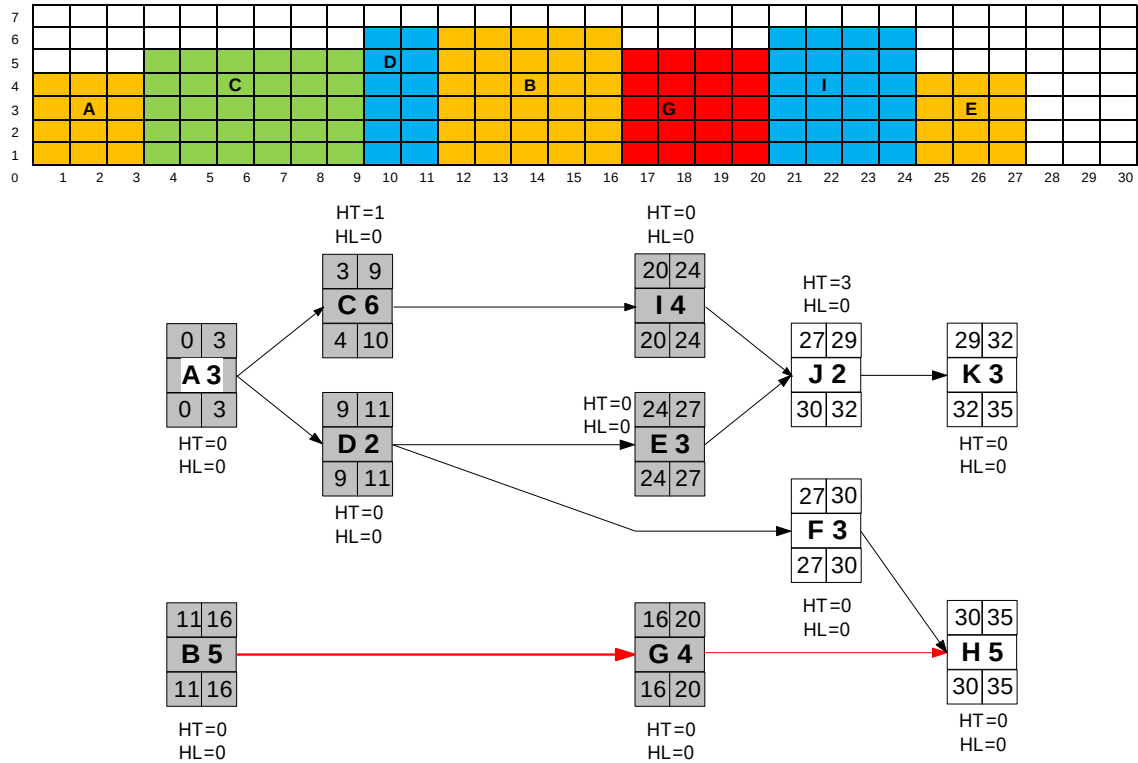


Figura 4.8 Iteración 7 en t = 24

		Actividades	Holgura total	Trabajadores disponibles	Selección	Duración, días	Trabajadores Por día
8	t=27	F	0	7	F	3	3
		J	3				

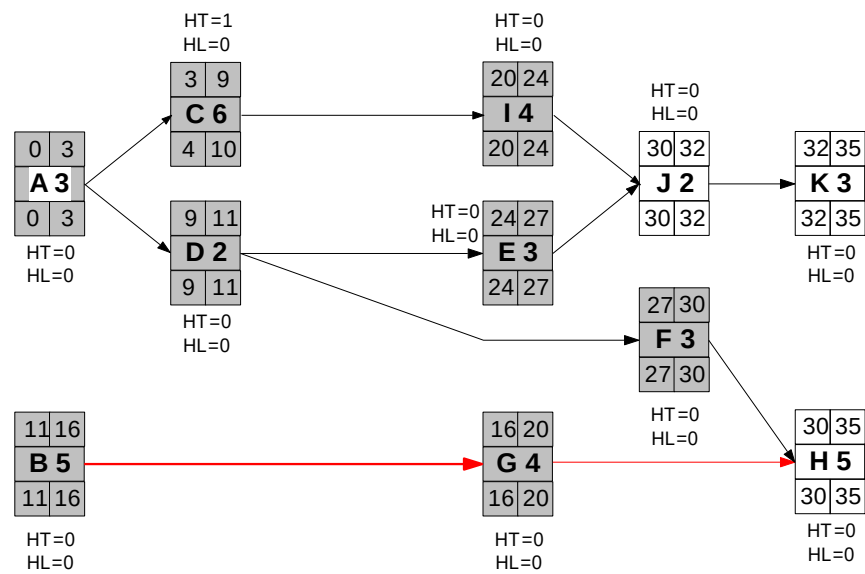
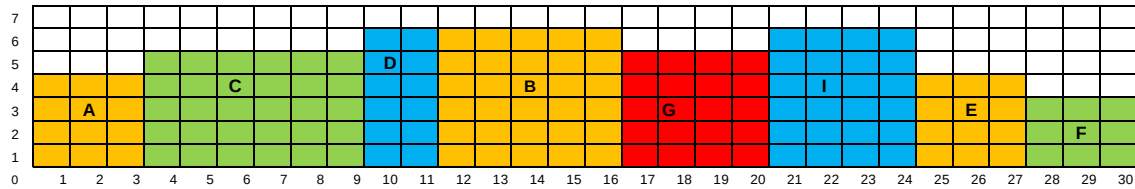
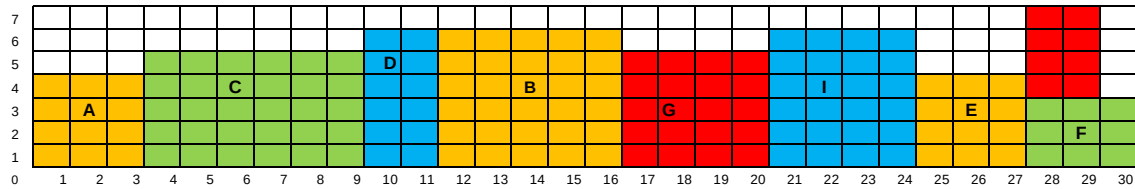


Figura 4.9 Iteración 8 en t = 27

		Actividades	Holgura total	Trabajadores disponibles	Selección	Duración, días	Trabajadores Por día
9	$t=30$	H	0	4	J	2	4
		J	0				



Finalmente solo quedan las actividades K y H, las cuales se pueden ejecutar como se muestra en el diagrama final de carga de recursos:

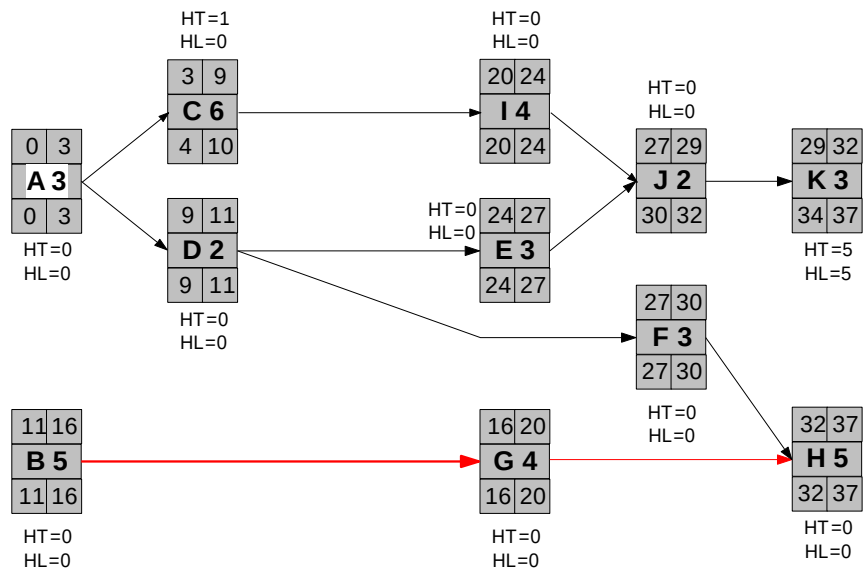
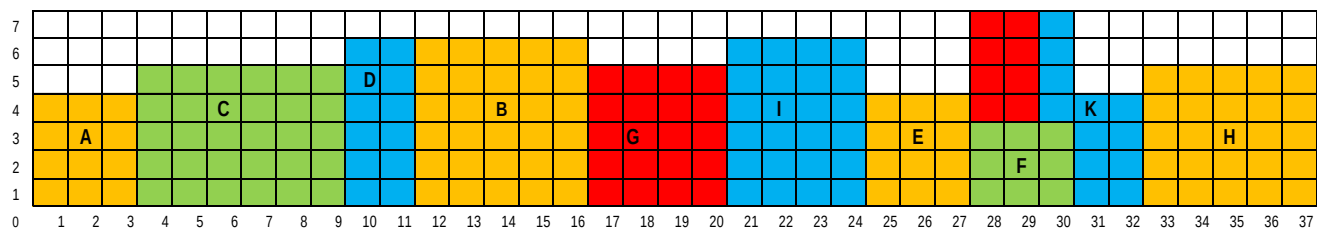


Figura 4.10 Iteración 9 en $t = 30$



**Figura 4.11 Diagrama de carga de recursos definitivo;
resultado de la asignación**

En la red de la figura 4.10 se muestra el programa definitivo, en el que se aprecia que finalmente el proyecto tiene una duración casi el doble de la duración sin considerar restricciones de los recursos.

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*, utilizando el procedimiento de los *mínimos cuadrados*. Para explicar el método se utilizará un ejemplo ilustrativo.

Este problema se plantea cuando, aunque existiendo los recursos sin ser una restricción, éstos son utilizados en forma desigual en el tiempo. El objetivo es nivelar o repartir el uso de estos recursos en el tiempo de la manera más equilibrada posible sin alargar la duración del proyecto, es decir, la duración dada por la ruta crítica.

Para abordar este problema, dada una programación de un proyecto, lo primero es hacer una representación gráfica y clara de la carga a lo largo del tiempo, del recurso que se esté analizando. Para ello, en la gráfica de Gantt que representa el calendario del proyecto se añade una fila final en la que se hace un conteo de esta carga por periodo (días, por ejemplo) y a partir de esta fila se hace una representación gráfica en la que en el eje de las abscisas se representa el tiempo y en el eje de ordenadas la carga de trabajo. A esta gráfica se le denomina *diagrama de carga de recursos*.

4.4 Diagrama de carga de recursos

Una de las ventajas de los modelos de redes para la planeación de proyectos es la facilidad con que se puede generar la información acerca de los requerimientos de los recursos en el tiempo. La única condición para obtener esta información es que los requerimientos de recursos asociados a cada actividad del proyecto, se muestren en la red en forma separada.

Como ejemplo, se muestra un proyecto, representado por la red de la figura 4.12, en que se muestra la información acerca del programa y los recursos de dos tipos (A y B) asociados a cada actividad:

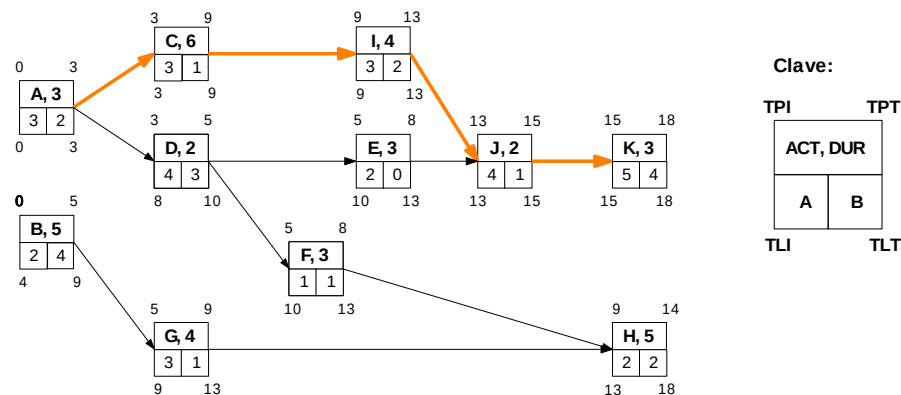


Figura 4.12 Situación inicial

Los diagramas de Gantt con TPI y TLI (tiempo próximo de inicio y tiempo lejano de inicio):

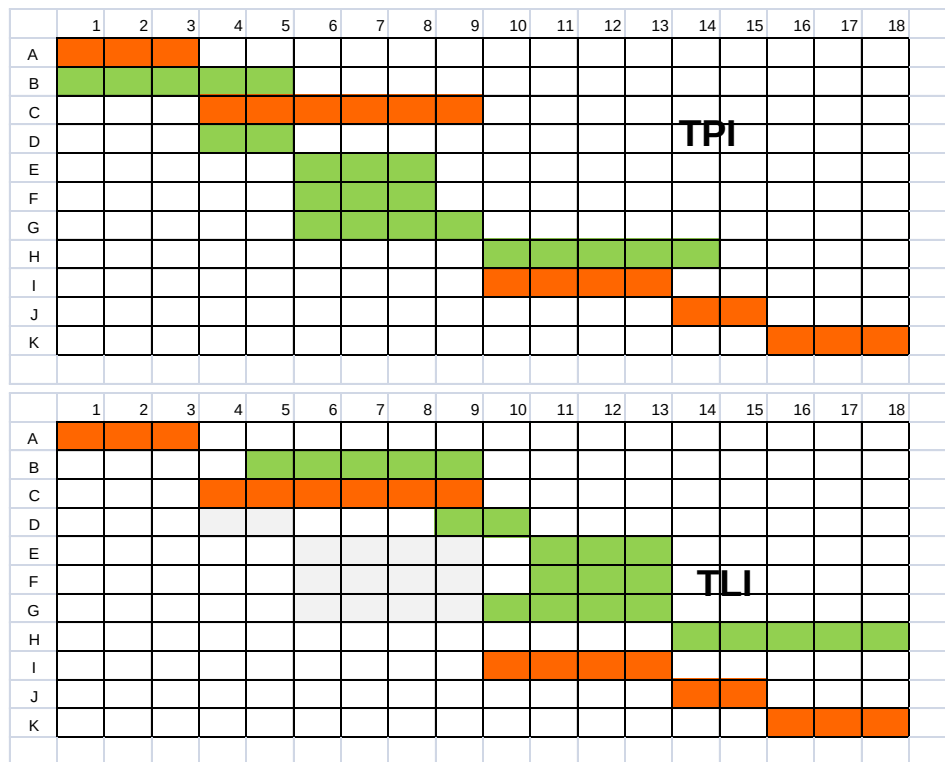


Figura 4.13 Diagramas de Gantt con TPI y TLI

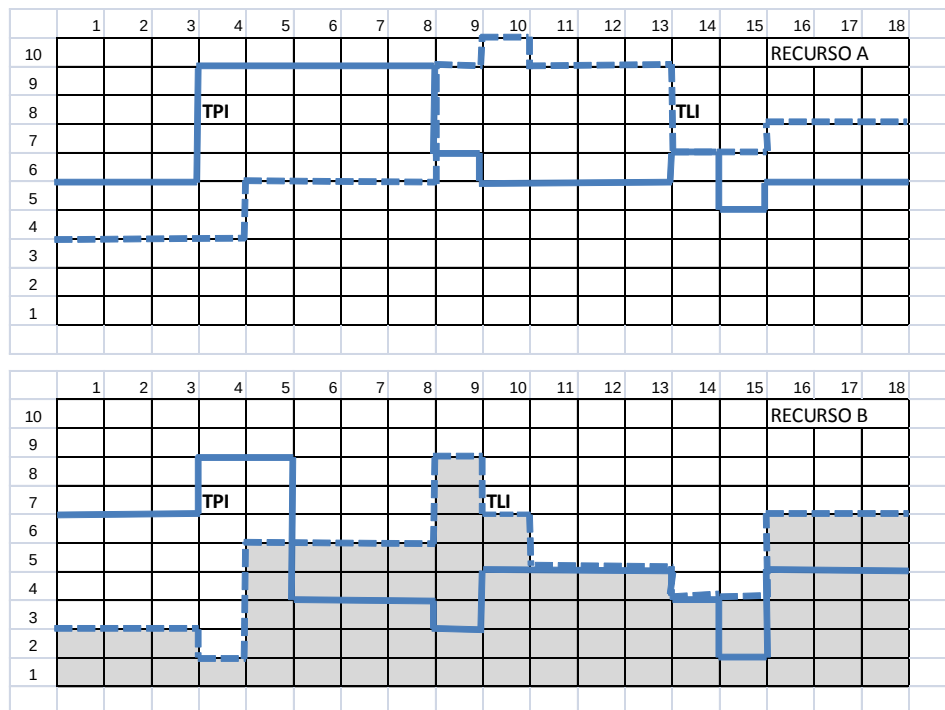


Figura 4.14 Diagramas de carga de los recursos

Estos diagramas son extremadamente importantes en la administración de proyectos; destacan las implicaciones de los recursos, periodo por periodo de un programa y aporta las bases para mejorar las decisiones en la programación.

El objetivo de la nivelación de recursos será obtener una carga lo más uniforme posible a lo largo del tiempo. La programación ideal del proyecto sería que esa carga fuera siempre la misma o sea tener una carga constante por periodo. Es obvio que esto es prácticamente imposible, de manera que el objetivo es *minimizar la variancia* de la programación resultante. Esta variancia puede ser calculada como la media de la suma de los cuadrados de las cargas menos la carga media al cuadrado; es decir, sumar los cuadrados de las cargas y dividir por el número de periodos y a ese valor restarle el cuadrado de la carga media. Sin embargo, optimizar esta función u optimizar esta función sin la constante y sin dividir va a dar el mismo resultado, por lo que se puede plantear el problema como minimizar la suma de los cuadrados de las cargas por periodo.

La información de los recursos en cada periodo pueden se pueden mostrar en la tabla 4.2 con recursos acumulados:

Tabla 4.2 Recursos acumulados

Periodo	Programa con TPI		Programa con TLI	
	Unidades	Unidades acumuladas	Unidades	Unidades acumuladas
0	0	0	0	0
1	5	5	3	3
2	5	10	3	6
3	5	15	3	9
4	9	24	3	12
5	9	33	5	17
6	9	42	5	22
7	9	51	5	27
8	9	60	5	32
9	6	66	9	41
10	5	71	10	51
11	5	76	9	60
12	5	81	9	69
13	5	86	9	78
14	6	92	6	84
15	4	96	6	90
16	5	101	7	97
17	5	106	7	104
18	5	111	7	111

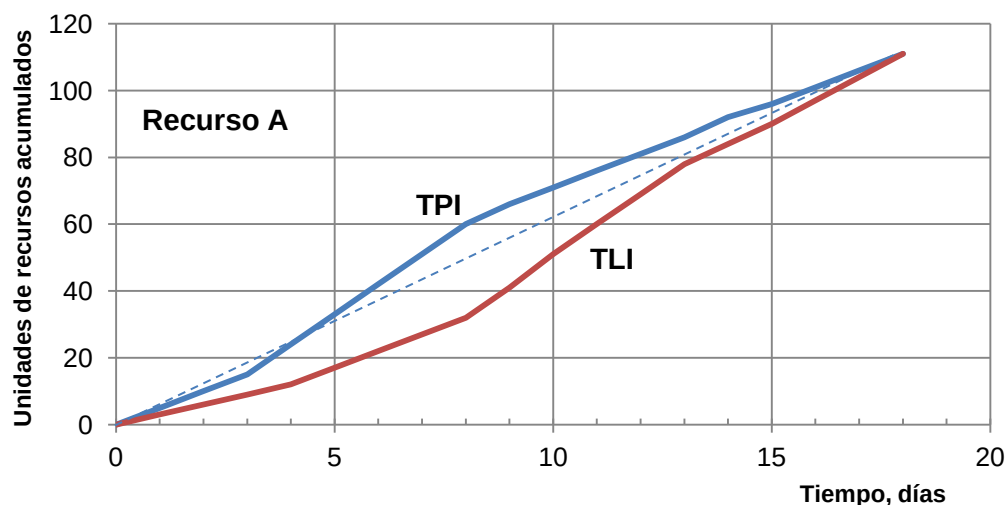


Figura 4.15 Gráfica de área de recursos factibles

En la tabla 4.2 y en la gráfica de la figura 4.15 se muestran los requerimientos periodo por periodo del recurso A; estas curvas pueden usarse para desarrollar información del programa antes y durante la ejecución del proyecto. Por ejemplo, conforme se avanza después de iniciado, los recursos acumulados requeridos deben estar dentro del área comprendida entre las curvas acumuladas de TPI y TLI. Si los recursos acumulados reales caen bajo la curva TLI, el proyecto está atrás del programa o los requerimientos de los recursos fueron sobreestimados. Al revés, si exceden a la curva TPI el proyecto está adelante del programa o los recursos fueron subestimados.

Las curvas de recursos acumulados también pueden utilizarse en la asignación de recursos preliminares en la planeación. La magnitud de los requerimientos totales y la pendiente de los requerimientos promedio pueden ser utilizados para desarrollar indicadores aproximados de la restricción de recursos, *criticidad* y de la probabilidad de retrasos, más allá de la etapa del *paso hacia delante* que determina la duración de la ruta crítica.

Por ejemplo, la línea punteada en la gráfica de la figura 4.15 indica el promedio de los requerimientos diarios del recurso A:

$$\text{Promedio diario de recursos} = 111 \text{ unidades} / 18 \text{ días} = 6.17 \text{ unidades por día}$$

Suponer que el recurso A está disponible a un nivel máximo de 7 unidades por día. En este caso, un total de 126 unidades deben ser gastadas sobre los 18 días de la duración de la ruta crítica, lo cual es considerablemente mayor que las 11 unidades requeridas sobre este periodo. Así, es improbable que haya un retraso en el proyecto. Esta conclusión se puede sacar de la relación de los recursos *requeridos* a los *disponibles*, la cual es una medida de la *estrechez* de los recursos, o *críticidad*:

$$\text{Índice de criticidad} = \text{Unidades requeridas} / \text{Unidades disponibles} = 6.17 / 7.0 = 0.88$$

Esta situación se puede contrastar con el caso en donde sólo hay disponibilidad de 6 unidades de recurso diario. Entonces:

$$\text{Índice de criticidad} = 6.17 / 6.0 = 1.03$$

Esto significa que en 18 días, se podrían gastar 108 unidades, por lo que se dejará algún trabajo sin terminar y se requerirá de una extensión de tiempo para terminar.

4.5 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.

Ejemplo de nivelación de recursos (Algoritmo de Burgess-Killebrew)

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 4.3 Datos 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

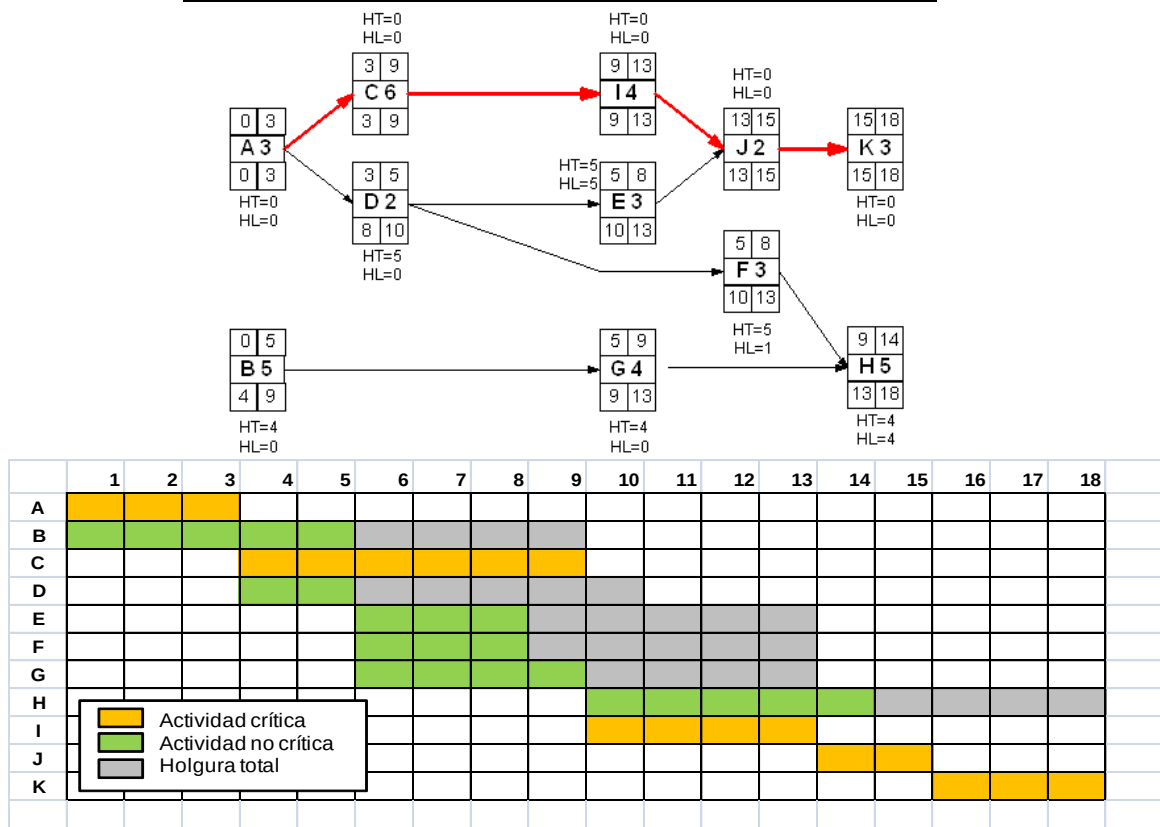


Figura 4.16 Red y diagrama de Gantt

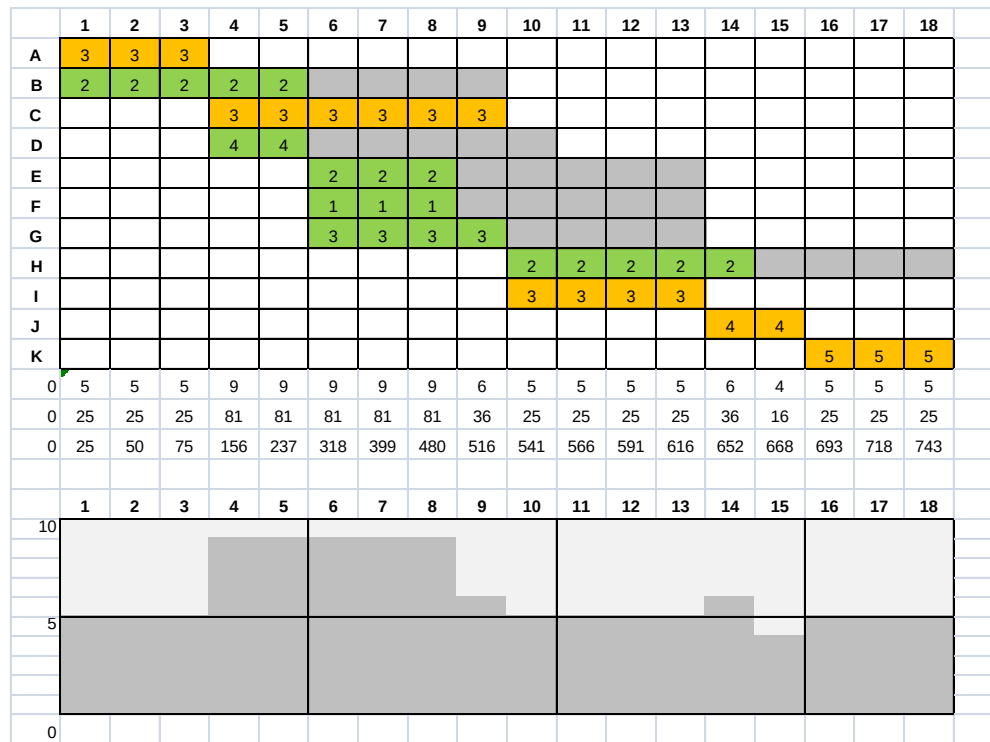


Figura 4.17 Situación inicial

Iteración	Selección	Holgura total					Resultado
		1	2	3	4	5	
1	H	747					No se retrasa

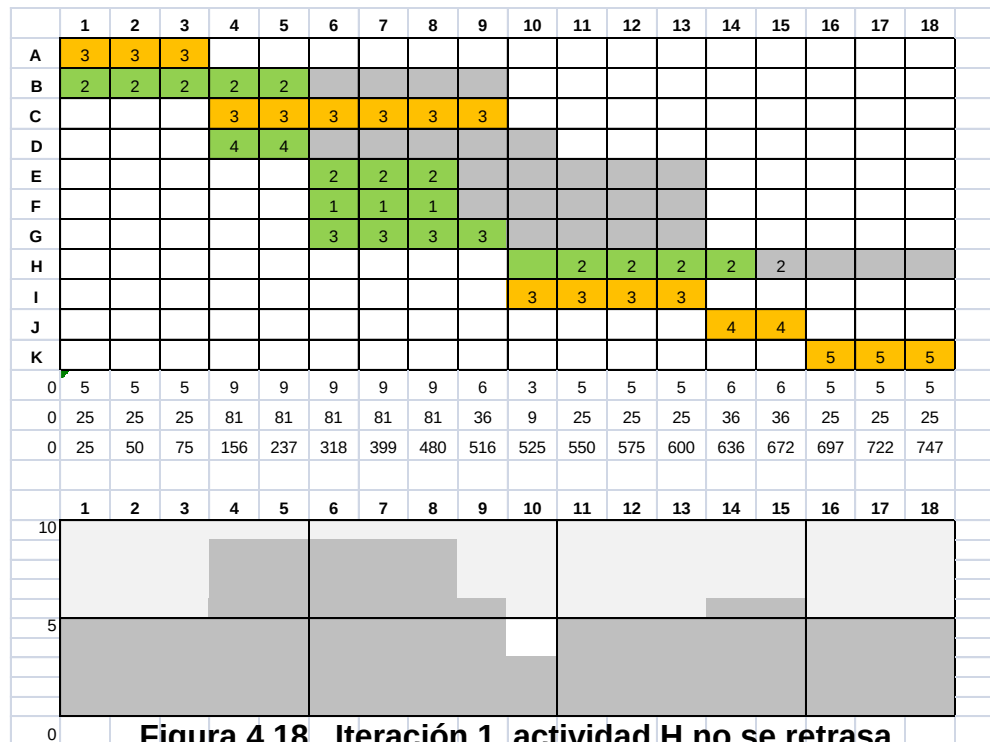


Figura 4.18 Iteración 1, actividad H no se retrasa

Iteración	Selección	Holgura total					Resultado
		1	2	3	4	5	
2	G	737	731	725	737		Se retrasa 3 días

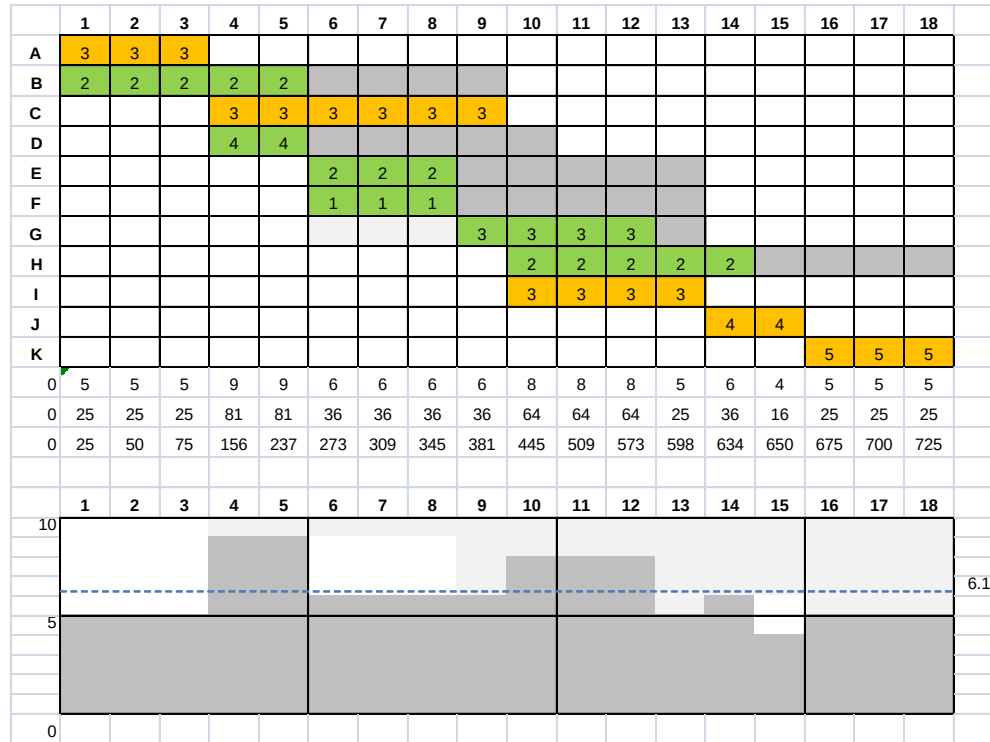


Figura 4.19 Iteración 2, actividad G se retrasa 3 días

Iteración	Selección	Holgura total					Resultado
		1	2	3	4	5	
3	E	733					No se retrasa

Iteración	Selección	Holgura total					Resultado
		1	2	3	4	5	
4	F	727					No se retrasa

Iteración	Selección	Holgura total					Resultado
		1	2	3	4	5	
5	D	733					No se retrasa

Iteración	Selección	Holgura total					Resultado
		1	2	3	4	5	
6	B	737					No se retrasa

Figura 4.20 Iteraciones 3 a 6, Actividades E, F, D y B no se retrasan

Iteración	Selección	Holgura total					Resultado
		1	2	3	4	5	
7	H	717	713	709	717		Se retrasa 3 días

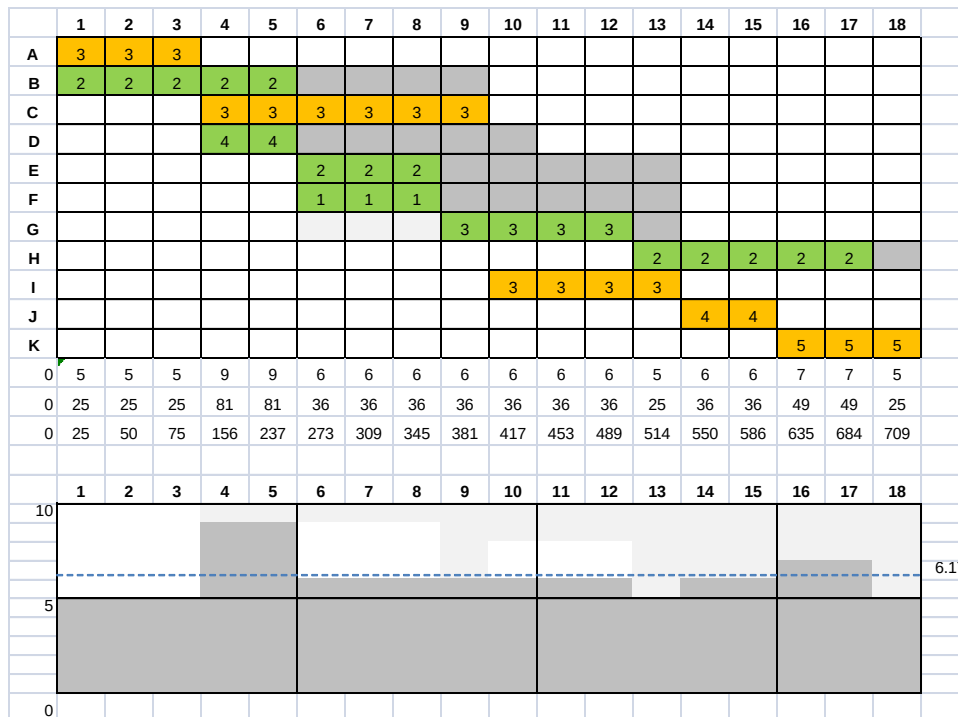
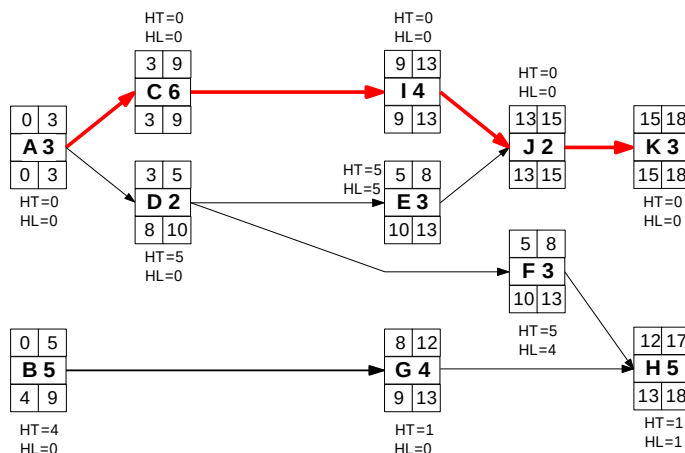


Figura 4.21 Iteración 7, actividad H se retrasa 3 días

En la figura 4.21 se muestra el mayor *aplanamiento* que se logra con el criterio de Burgess-Killebrew, ya el valor de 709 es la menor suma de variancias que se puede determinar. De acuerdo con esto, se modifican las fechas de inicio del programa inicial, quedando el programa definitivo como se muestra en la figura 4.22:

Figura 4.22
Programa
después de la
nivelación



5 APLICACIÓN DE LA NIVELACIÓN DE RECURSOS DE MANO DE OBRA EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO TIPO U2C

El proyecto en análisis corresponde a la construcción de edificio tipo U-2C de dos niveles a base de estructura de marcos rígidos de concreto armado, de 09 entre-ejes para 02 laboratorios, 04 aulas y 10 anexos (03 cubículos, 02 almacenes de reactivos, 02 cuartos de balanzas y campanas de flujo, 02 medios baños y módulo de escalera), para la Facultad de Ciencias Químicas Extensión Ocozocoautla, en Ocozocoautla, Chiapas.

Éste proyecto se construyó en el municipio de Ocozocoautla, Chiapas bajo las siguientes especificaciones generales:

Materiales y acabados

El tipo de cimentación deberá ser para un terreno con resistencia de 7.5 ton/m², la cual se deberá corroborar por estudio de mecánica de suelos y en caso de no cumplir con la capacidad de resistencia especificada, la supervisión propondrá el método o proceso de mejoramiento de terreno para obtener la resistencia indicada.

La estructura será de concreto y estará diseñada para la zona sísmica denominada C y D.

Los muros no estructurales serán de tabicón prensado de 15x20x40cm de 15 cm de espesor asentado con mortero cemento-arena proporción 1:4. El concreto a utilizar en la cimentación y elementos estructurales, deberá tener una resistencia a la compresión de $F'c = 250 \text{ Kg/cm}^2$ y el tamaño máximo del agregado será de $\frac{3}{4}$ ", obtenido del banco autorizado por el INIFECH.

Los muros deberán recubrirse con aplanados a base de mortero-cemento-cal-arena en proporción 1:2:6 y con acabados de 1ª según proyecto.

Instalación eléctrica:

Se utilizará tubería tipo conduit pared gruesa con los diámetros marcados en el proyecto y que garanticen el buen funcionamiento de la instalación.

Todos los tableros se concentrarán en un solo lugar, de preferencia en áreas de circulación con fácil acceso, cada tablero incluirá una tierra física, según las especificaciones marcadas.

Los contactos y luminarias irán en circuitos independientes, los contactos serán tipo monofásico polarizado tipo dúplex.

La distribución de salidas de centro, contactos y apagadores, o cualquier otro tipo de instalación, deberá ser respetada de acuerdo al proyecto, cualquier modificación deberá ser la que garantice el buen funcionamiento y en caso de ser aprobada, el contratista presentará al finiquito de la obra un plano donde se representen los cambios realizados, para anexar a los expedientes técnicos del INIFECH y la UNACH.

Cancelería:

La cancelería será de aluminio anodizado color natural, todas las ventanas serán corredizas respetando lo indicado en el proyecto.

Los cristales serán del tipo flotado claro de 6 mm de espesor, medidas y diseño según proyecto. Las puertas de acceso a los espacios educativos serán del tipo *Multipanel*. Las puertas interiores se deberán fabricar de acuerdo las indicaciones del proyecto.

Herrería:

Las ventanas exteriores contarán con protecciones de herrería, de acuerdo al diseño según proyecto, a fin de proporcionar más seguridad.



Figura 5.1 Perspectiva del proyecto

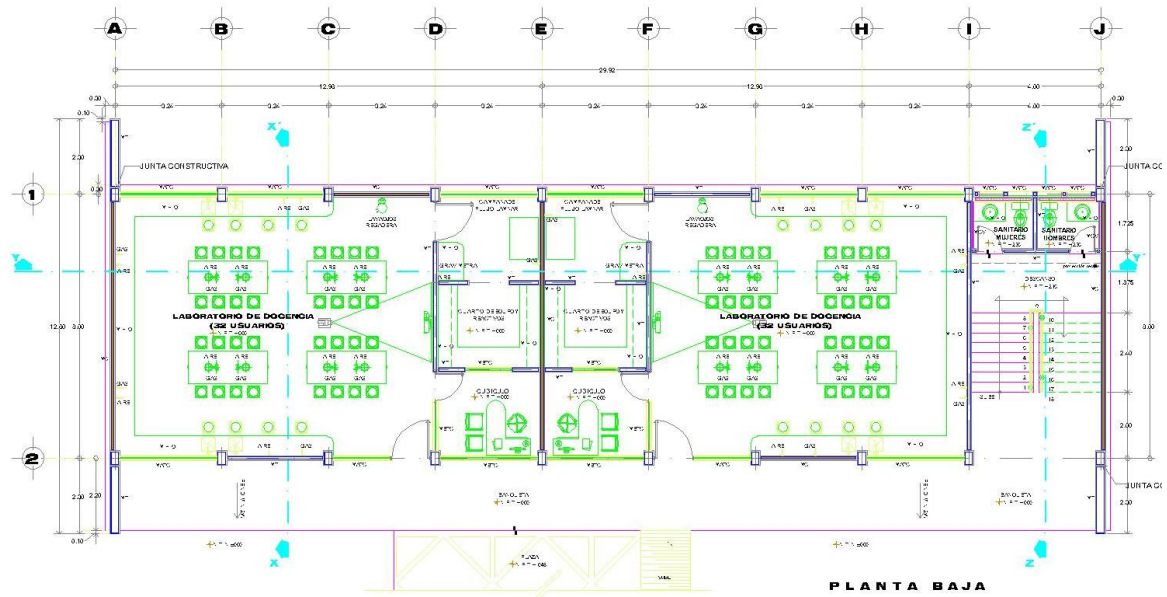


Figura 5.2 Planta arquitectonica planta baja

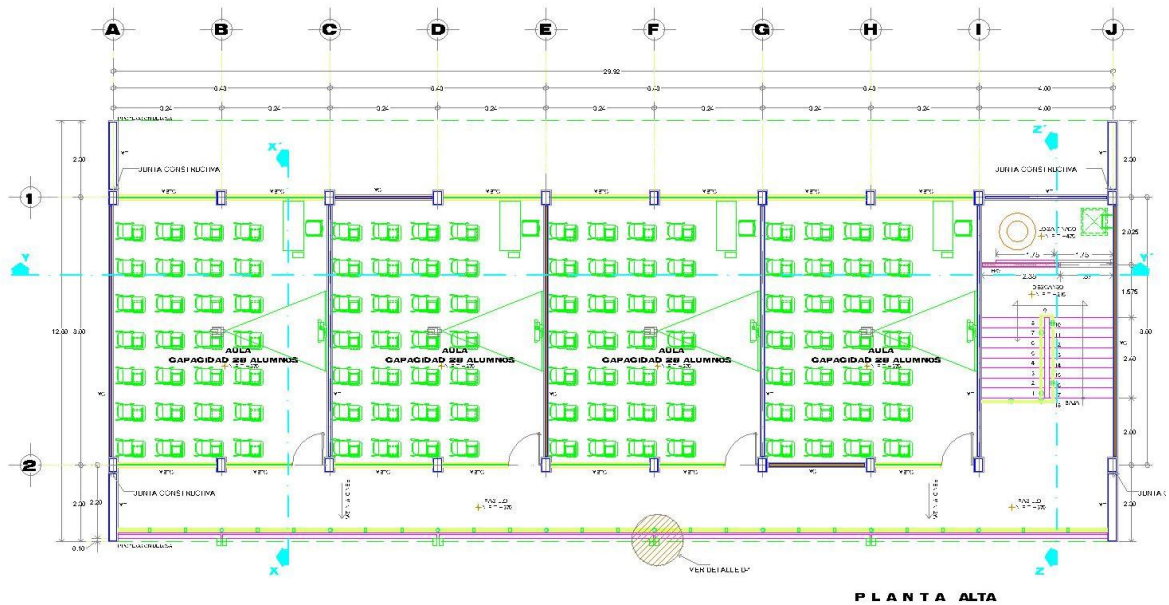


Figura 5.3 Planta arquitectonica planta alta

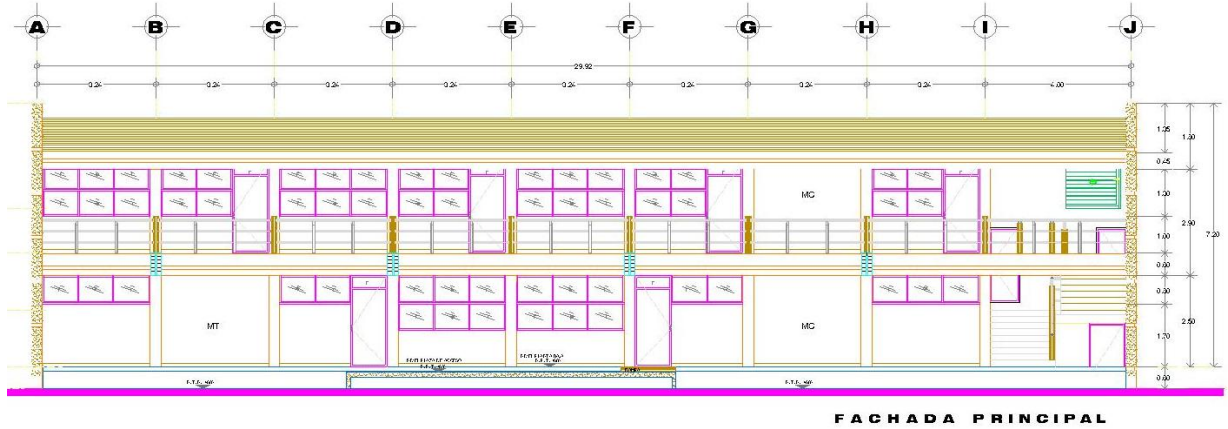


Figura 5.4 Fachada principal

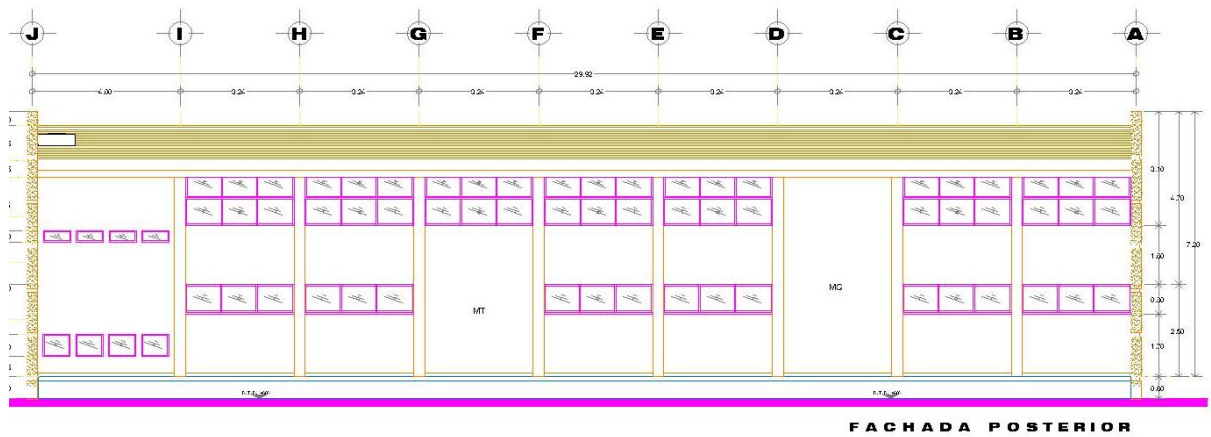


Figura 5.5 Fachada posterior

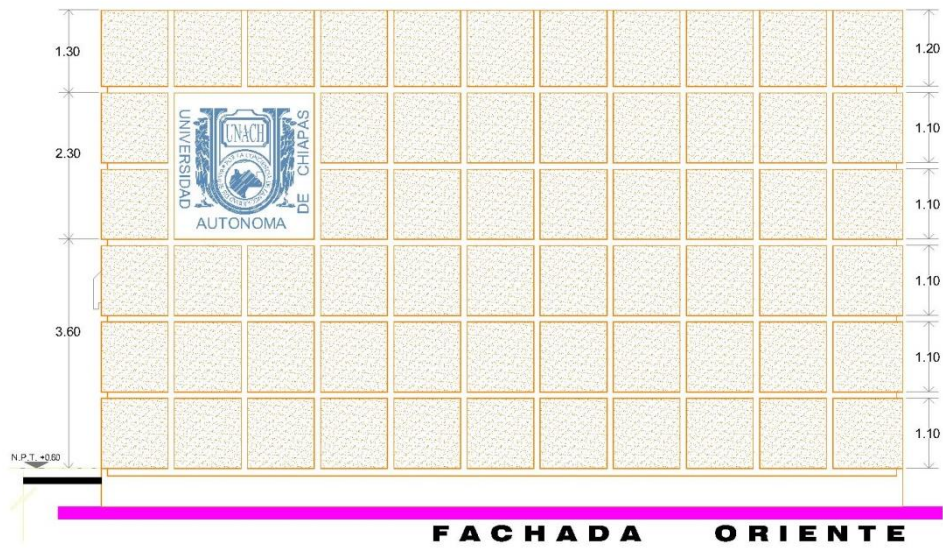


Figura 5.6 Fachada lateral

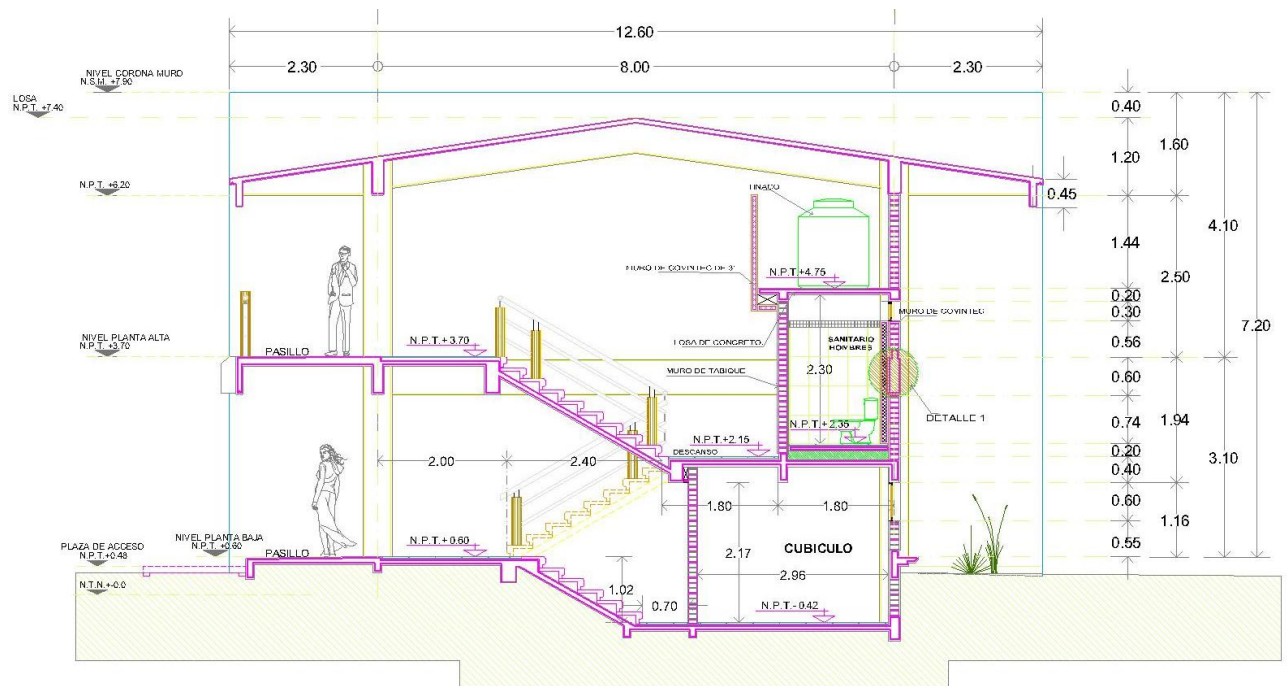


Figura 5.7 Corte Transversal

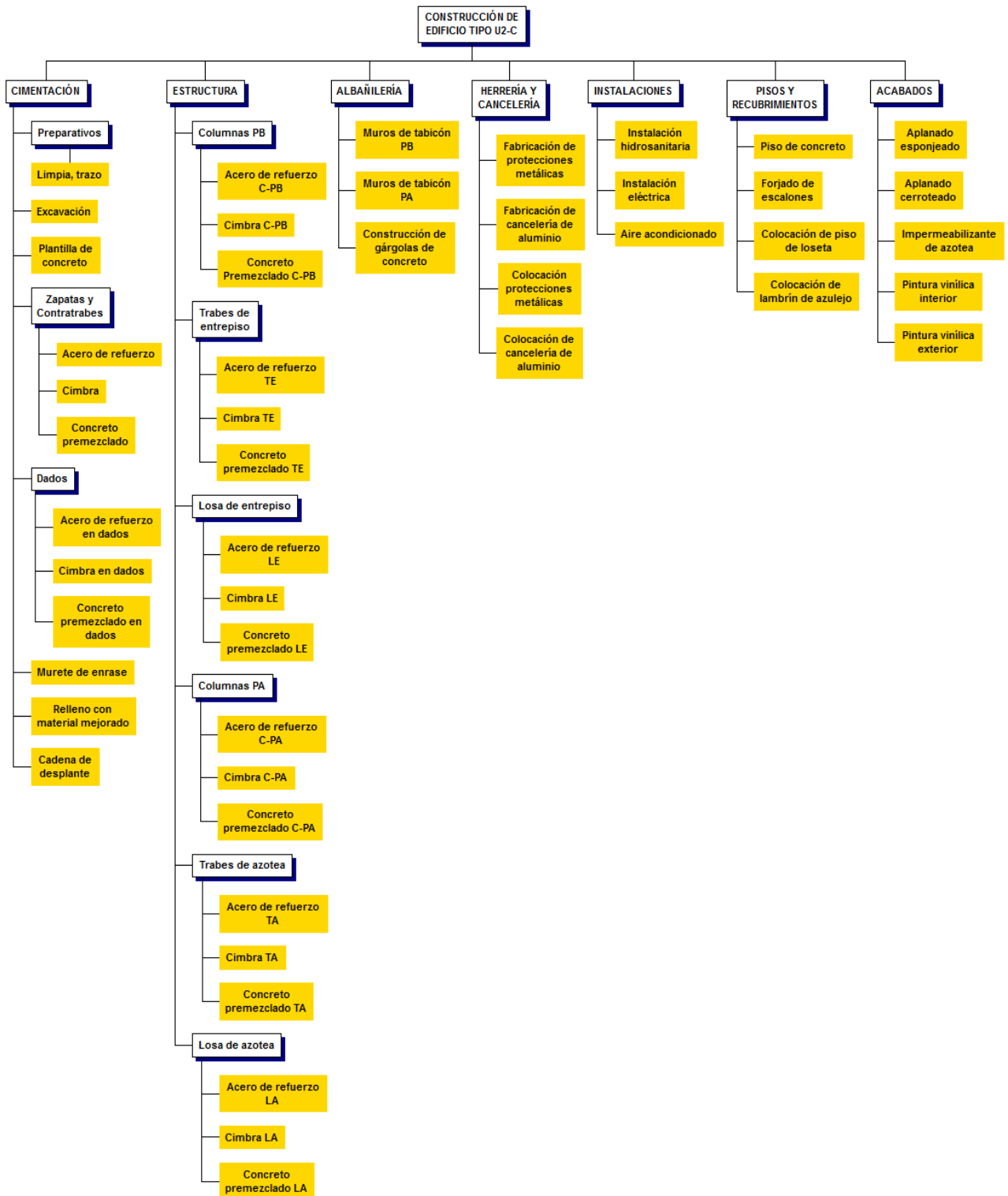


Figura 5.8 WBS – Tasks del proyecto: Construcción de edificio tipo U2-C

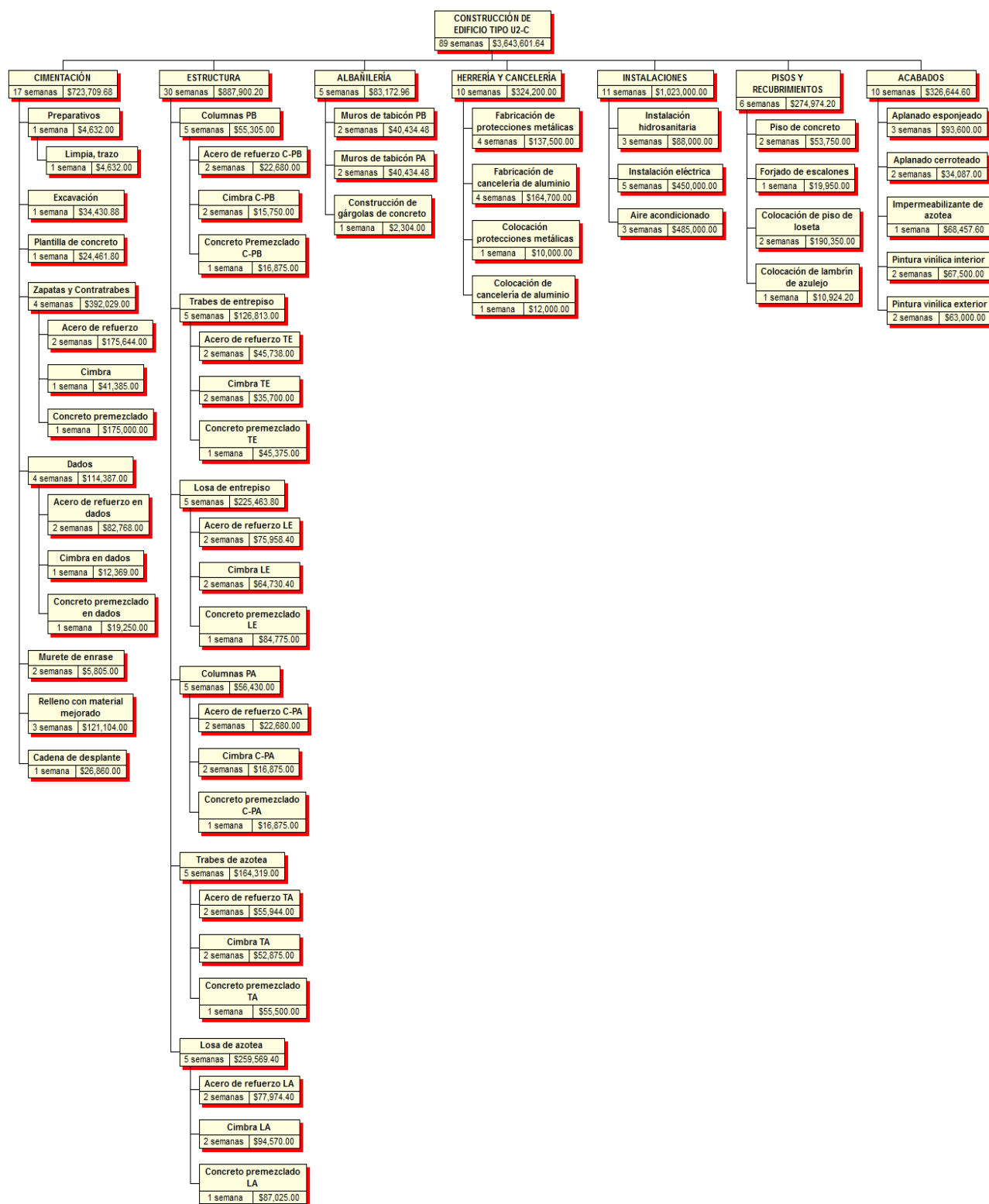


Figura 5.9 WBS del proyecto: Construcción de edificio tipo U2-C

Actividad		Duración, Semanas	Precedencia	Información adicional	Relación	Retraso
Código	Descripción					
A	CIMENTACIÓN					
A1	Limpia, trazo y nivelación	1.00	-	-	-	-
A2	Excavación	1.00	A1	Se inicia hasta que termina la actividad A1	FS	0
A3	Plantilla de concreto	1.00	A2	Se inicia hasta que termina la actividad A2	FS	0
A4	Acero de refuerzo en Zapatas y CT	2.00	A3	Inicia simultáneamente con la la actividad A3	SS	0
A5	Cimbra en Zapatas y CT	1.00	A4	Se inicia hasta que termina la actividad A4	FS	0
A6	Concreto premezclado en Zapatas y CT	1.00	A5	Se inicia hasta que termina la actividad A4	FS	0
A7	Acero de refuerzo en Dados	2.00	A4	Puede iniciar 1 semana después de iniciada la actividad A4	SS	1
A8	Cimbra en Dados	1.00	A7	Se inicia hasta que termina la actividad A7	FS	0
A9	Concreto premezclado en Dados	1.00	A8	Se inicia hasta que termina la actividad A8	FS	0
A10	Murete de enrase	2.00	A6	Se inicia hasta que termina la actividad A6	FS	0
A11	Relleno con material mejorado	3.00	A6	Inicia 1 semana después de terminar la actividad A6	FS	1
A12	Cadena de desplante	1.00	A11	Deben emplearse 2 semanas entre iniciar A11 y terminar A12	SF	2
B	ESTRUCTURA					
B1	Acero de refuerzo Columnas PB	2.00	A4	Puede iniciar 1 semana después de iniciada la actividad A4	SS	1
B2	Cimbra Columnas PB	2.00	B1	Puede iniciar 1 semana después de iniciada la actividad B1	SS	1
B3	Concreto premezclado Columnas PB	1.00	B2	Se inicia hasta que termina la actividad B2	FS	0
B4	Acero de refuerzo Trabes de Entrepiso	2.00	B3	Se inicia hasta que termina la actividad B3	FS	0
B5	Cimbra Trabes de Entrepiso	2.00	B4	Puede iniciar 1 semana después de iniciada la actividad B4	SS	1
B6	Concreto premezclado Trabes de Entrepiso	1.00	B5	Se inicia hasta que termina la actividad B5	FS	0
B7	Acero de refuerzo Losa de Entrepiso	2.00	B4	Inicia simultáneamente con la actividad B4	SS	0
B8	Cimbra Losa de Entrepiso	2.00	B7	Debe emplearse 1 semana entre iniciar B7 y terminar B8	SF	2
B9	Concreto premezclado Losa de Entrepiso	1.00	B7	Se inicia hasta que termina la actividad B7	FS	0
B10	Acero de refuerzo Columnas PA	2.00	B1	Se inicia hasta que termina la actividad B1	FS	0
B11	Cimbra Columnas PA	2.00	B10	Inicia 2 semanas después de terminar la actividad B10	FS	2
B12	Concreto premezclado Columnas PA	1.00	B11	Se inicia hasta que termina la actividad B11	FS	0
B13	Acero de refuerzo Trabes de Azotea	2.00	B12	Se inicia hasta que termina la actividad B12	FS	0
B14	Cimbra Trabes de Azotea	2.00	B13	Puede iniciar 1 semana después de iniciada la actividad B13	SS	1
B15	Concreto premezclado Trabes de Azotea	1.00	B14	Se inicia hasta que termina la actividad B14	FS	0
B16	Acero de refuerzo Losa de Azotea	2.00	B13	Inicia simultáneamente con la la actividad B13	SS	0
B17	Cimbra Losa de Azotea	2.00	B16	Debe emplearse 1 semana entre iniciar B16 y terminar B17	SF	2
B18	Concreto premezclado Losa de Azotea	1.00	B14	Se inicia hasta que termina la actividad B14	FS	0
C	ALBAÑILERÍA					
C1	Muros de tabicón PB	2.00	B3	Se inicia hasta que termina la actividad B3	FS	0
C2	Muros de tabicón PA	2.00	B12	Se inicia hasta que termina la actividad B12	FS	0
C3	Construcción de gárgola de concreto	1.00	B9	Inicia 1 semana después de terminar la actividad B9	FS	1
D	HERRERÍA Y CANCELERÍA					
D1	Protecciones metálicas	4.00	A1	Inicia simultáneamente con la actividad A1	SS	0
D2	Cancelería de aluminio	4.00	A1	Inicia simultáneamente con la actividad A1	SS	0
D3	Colocación de protecciones metálicas	1.00	C2	Se inicia hasta que termina la actividad C2	FS	0
			D1	Se inicia hasta que termina la actividad D1	FS	0
D4	Colocación de cancelería de aluminio	1.00	D2	Se inicia hasta que termina la actividad D2	FS	0
			G1	Se inicia hasta que termina la actividad G1	FS	0
E	INSTALACIONES					
E1	Instalación hidrosanitaria	3.00	A11	Puede iniciar 2 semanas después de iniciada la actividad A11	SS	2
E2	Instalación eléctrica	5.00	A11	Puede iniciar 1 semana después de iniciada la actividad A11	SS	1
E3	Aire acondicionado	3.00	E2	Puede iniciar 3 semanas después de iniciada la actividad E2	SS	3
F	PISOS Y RECUBRIMIENTOS					
F1	Piso de concreto	2.00	B9	Inicia 1 semana después de terminar la actividad B9	FS	1
F2	Forjado de escalones	1.00	B9	Inicia 1 semana después de terminar la actividad B9	FS	1
F3	Colocación de piso de loseta	2.00	G1	Se inicia hasta que termina la actividad G1	FS	0
F4	Colocación de lambrín de azulejo	1.00	G1	Puede iniciar 2 semanas después de iniciada la actividad G1	SS	2
G	ACABADOS					
G1	Aplanado esponjeado	3.00	C1	Se inicia hasta que termina la actividad C1	FS	0
			C2	Inicia simultáneamente con la actividad C2	SS	0
G2	Aplanado cerroteado	2.00	C1	Se inicia hasta que termina la actividad C1	FS	0
G3	Impermeabilizante azotea	1.00	B18	Inicia 1 semana después de terminar la actividad B18	FS	1
G4	Pintura vinílica interior	2.00	G1	Se inicia hasta que termina la actividad G1	FS	0
G5	Pintura vinílica exterior	2.00	G2	Se inicia hasta que termina la actividad G2	FS	0

Tabla 5.1 Programación del proyecto con PDM

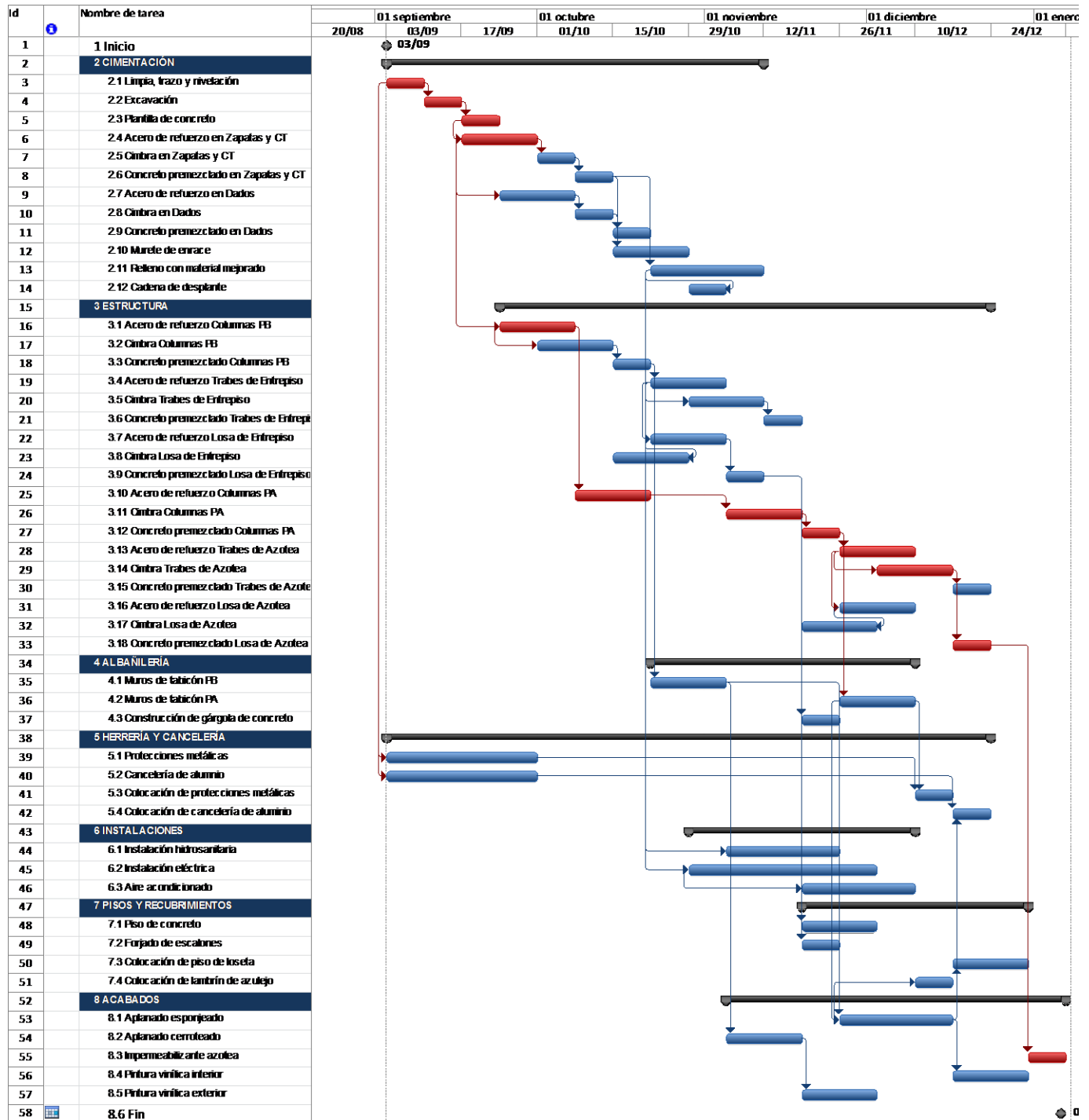


Figura 5.10 Diagrama de Gantt del proyecto (Project de Microsoft®)

COSTO PRESUPUESTADO DEL TRABAJO PROGRAMADO

Código	Actividad	Unidad	Volumen	Costo	Importe
A	CIMENTACIÓN				
A1	Limpia, trazo y nivelación	M2	463.20	\$ 10.00	\$ 4,632.00
A2	Excavación	M3	391.26	\$ 88.00	\$ 34,430.88
A3	Plantilla de concreto	M2	222.38	\$ 110.00	\$ 24,461.80
A4	Acero de refuerzo en Zapatas y CT	KG	6,273.00	\$ 28.00	\$ 175,644.00
A5	Cimbra en Zapatas y CT	M2	222.50	\$ 186.00	\$ 41,385.00
A6	Concreto premezclado en Zapatas y CT	M3	70.00	\$ 2,500.00	\$ 175,000.00
A7	Acero de refuerzo en Dados	KG	2,956.00	\$ 28.00	\$ 82,768.00
A8	Cimbra en Dados	M2	66.50	\$ 186.00	\$ 12,369.00
A9	Concreto premezclado en Dados	M3	7.70	\$ 2,500.00	\$ 19,250.00
A10	Murete de enrase	M2	22.50	\$ 258.00	\$ 5,805.00
A11	Relleno con material mejorado	M3	417.60	\$ 290.00	\$ 121,104.00
A12	Cadena de desplante	M	85.00	\$ 316.00	\$ 26,860.00
B	ESTRUCTURA				
B1	Acero de refuerzo Columnas PB	KG	810.00	\$ 28.00	\$ 22,680.00
B2	Cimbra Columnas PB	M2	75.00	\$ 210.00	\$ 15,750.00
B3	Concreto premezclado Columnas PB	M3	6.75	\$ 2,500.00	\$ 16,875.00
B4	Acero de refuerzo Trabes de Entrepiso	KG	1,633.50	\$ 28.00	\$ 45,738.00
B5	Cimbra Trabes de Entrepiso	M2	170.00	\$ 210.00	\$ 35,700.00
B6	Concreto premezclado Trabes de Entrepiso	M3	18.15	\$ 2,500.00	\$ 45,375.00
B7	Acero de refuerzo Losa de Entrepiso	KG	2,712.80	\$ 28.00	\$ 75,958.40
B8	Cimbra Losa de Entrepiso	M2	308.24	\$ 210.00	\$ 64,730.40
B9	Concreto premezclado Losa de Entrepiso	M3	33.91	\$ 2,500.00	\$ 84,775.00
B10	Acero de refuerzo Columnas PA	KG	810.00	\$ 28.00	\$ 22,680.00
B11	Cimbra Columnas PA	M2	75.00	\$ 225.00	\$ 16,875.00
B12	Concreto premezclado Columnas PA	M3	6.75	\$ 2,500.00	\$ 16,875.00
B13	Acero de refuerzo Trabes de Azotea	KG	1,998.00	\$ 28.00	\$ 55,944.00
B14	Cimbra Trabes de Azotea	M2	225.00	\$ 235.00	\$ 52,875.00
B15	Concreto premezclado Trabes de Azotea	M3	22.20	\$ 2,500.00	\$ 55,500.00
B16	Acero de refuerzo Losa de Azotea	KG	2,784.80	\$ 28.00	\$ 77,974.40
B17	Cimbra Losa de Azotea	M2	386.00	\$ 245.00	\$ 94,570.00
B18	Concreto premezclado Losa de Azotea	M3	34.81	\$ 2,500.00	\$ 87,025.00
C	ALBAÑILERÍA				
C1	Muros de tabicón PB	M2	113.58	\$ 356.00	\$ 40,434.48
C2	Muros de tabicón PA	M2	113.58	\$ 356.00	\$ 40,434.48
C3	Construcción de gárgola de concreto	PZA	4.00	\$ 576.00	\$ 2,304.00
D	HERRERÍA Y CANCELERÍA				
D1	Protecciones metálicas	M2	125.00	\$ 1,100.00	\$ 137,500.00
D2	Cancelería de aluminio	M2	122.00	\$ 1,350.00	\$ 164,700.00
D3	Colocación de protecciones metálicas	LOTE	1.00	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00
D4	Colocación de cancelería de aluminio	LOTE	1.00	\$ 12,000.00	\$ 12,000.00
E	INSTALACIONES				
E1	Instalación hidrosanitaria	LOTE	1.00	\$ 88,000.00	\$ 88,000.00

Código	Actividad	Unidad	Volumen	Costo	Importe
E2	Instalación eléctrica	LOTE	1.00	\$ 450,000.00	\$ 450,000.00
E3	Aire acondicionado	LOTE	1.00	\$ 485,000.00	\$ 485,000.00
F	PISOS Y RECUBRIMIENTOS				
F1	Piso de concreto	M2	215.00	\$ 250.00	\$ 53,750.00
F2	Forjado de escalones	M	95.00	\$ 210.00	\$ 19,950.00
F3	Colocación de piso de loseta	M2	423.00	\$ 450.00	\$ 190,350.00
F4	Colocación de lambrín de azulejo	M2	21.42	\$ 510.00	\$ 10,924.20
G	ACABADOS				
G1	Aplanado esponjeado	M2	600.00	\$ 156.00	\$ 93,600.00
G2	Aplanado cerroteado	M2	191.50	\$ 178.00	\$ 34,087.00
G3	Impermeabilizante azotea	M2	380.32	\$ 180.00	\$ 68,457.60
G4	Pintura vinílica interior	M2	1,500.00	\$ 45.00	\$ 67,500.00
G5	Pintura vinílica exterior	M2	900.00	\$ 70.00	\$ 63,000.00

Subtotal \$ 3,643,601.64

16% I.V.A. \$ 582,976.26

Total \$ 4,226,577.90

Tabla 5.2 Costo Presupuestado del Trabajo Programado

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A1	4,632																	
A2		34,431																
A3			24,462															
A4			87,822	87,822														
A5					41,385													
A6						175,000												
A7				41,384	41,384													
A8						12,369												
A9							19,250											
A10							2,903	2,903										
A11								40,368	40,368	40,368								
A12									26,860									
B1			11,340	11,340														
B2					7,875	7,875												
B3							16,875											
B4								22,869	22,869									
B5									17,850	17,850								
B6											45,375							
B7								37,979	37,979									
B8							32,365	32,365										
B9										84,775								
B10						11,340	11,340											
B11										8,438	8,438							
B12												16,875						
B13													27,972	27,972				
B14														26,438	26,438			
B15																55,500		
B16													38,987	38,987				
B17												47,285	47,285					
B18																87,025		
C1								20,217	20,217									
C2													20,217	20,217				
C3												2,304						
D1	34,375	34,375	34,375	34,375														
D2	41,175	41,175	41,175	41,175														
D3															10,000			
D4																12,000		
E1										29,333	29,333	29,333						
E2									90,000	90,000	90,000	90,000	90,000					
E3												161,667	161,667	161,667				
F1												26,875	26,875					
F2												19,950						
F3																95,175	95,175	
F4															10,924			
G1													31,200	31,200	31,200			
G2										17,044	17,044							
G3																		68,458
G4																33,750	33,750	
G5												31,500	31,500					
	80,182	109,981	187,834	216,096	101,984	206,584	82,733	156,701	256,143	287,808	190,190	425,789	475,703	306,481	78,562	283,450	128,925	68,458
0	80,182	190,163	377,997	594,093	696,077	902,661	985,394	1,142,095	1,398,238	1,686,046	1,876,236	2,302,025	2,777,728	3,084,209	3,162,771	3,446,221	3,575,146	3,643,604

Tabla 5.3 Datos Curva “S” del proyecto

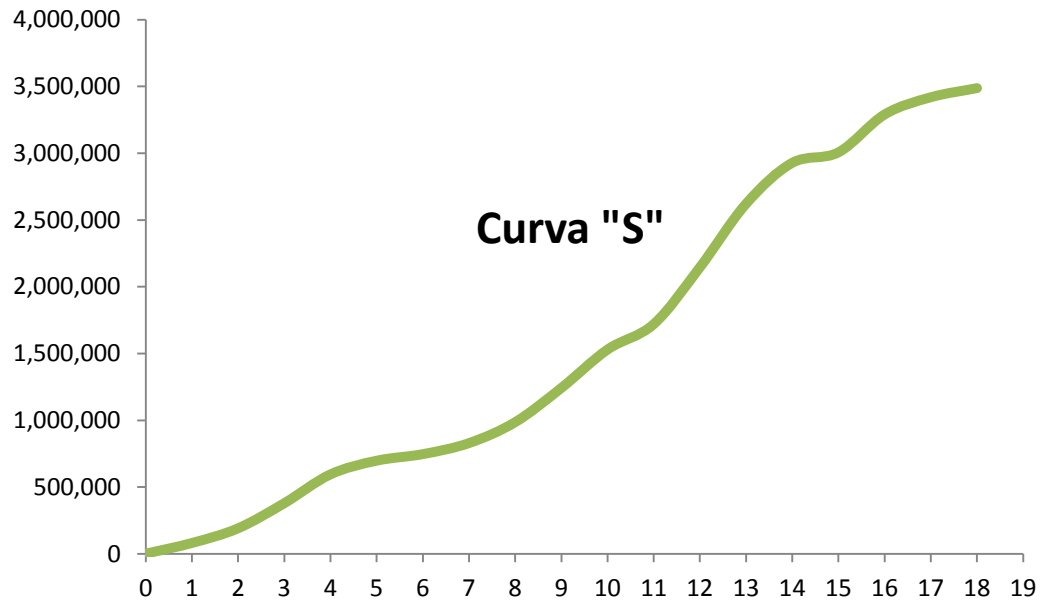


Figura 5.11 Curva "S" del proyecto

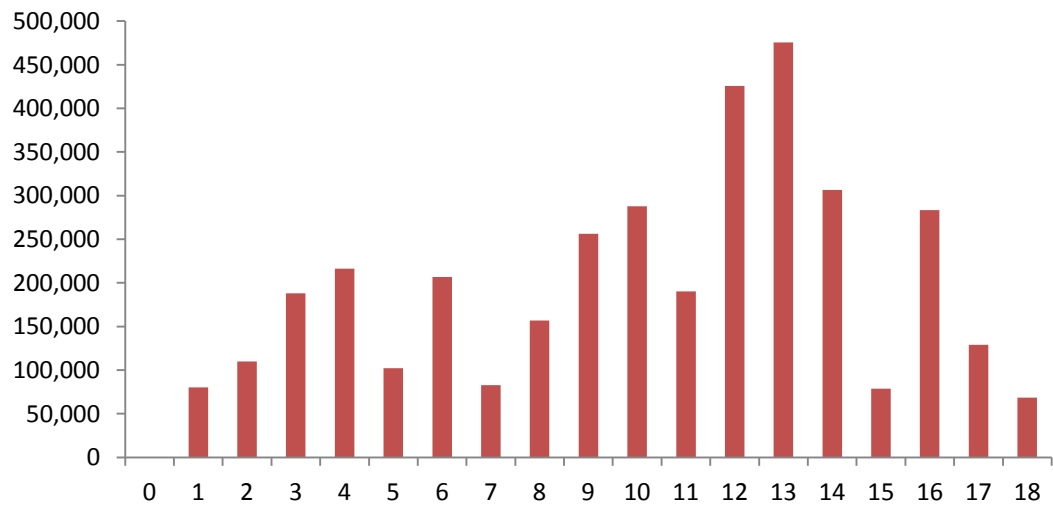


Figura 5.12 Gráfica del presupuesto del proyecto

En la tabla 5.4 se muestran las actividades, duración, precedencias y los recursos asociados a cada actividad. El objetivo es nivelar los recursos, hasta donde sea posible; es decir, aplanar el diagrama de carga de recursos utilizado el algoritmo de *Burgess-Killebrew*.

Actividad		Duración, semanas	Precedencia	Relación	Retraso	Recurso de mano de obra
Código	Descripción					
A1	Limpia, trazo y nivelación	1.00	-	-	-	6
A2	Excavación	1.00	A1	FS	0	8
A3	Plantilla de concreto	1.00	A2	FS	0	10
A4	Acero de refuerzo en Zapatas y CT	2.00	A3	SS	0	10
A5	Cimbra en Zapatas y CT	1.00	A4	FS	0	8
A6	Concreto premezclado en Zapatas y CT	1.00	A5	FS	0	12
A7	Acero de refuerzo en Dados	2.00	A4	SS	1	10
A8	Cimbra en Dados	1.00	A7	FS	0	8
A9	Concreto premezclado en Dados	1.00	A8	FS	0	12
A10	Murete de enlace	2.00	A6	FS	0	10
A11	Relleno con material mejorado	3.00	A6	FS	1	10
A12	Cadena de desplante	1.00	A11	SF	2	10
B1	Acero de refuerzo Columnas PB	2.00	A4	SS	1	10
B2	Cimbra Columnas PB	2.00	B1	SS	1	8
B3	Concreto premezclado Columnas PB	1.00	B2	FS	0	12
B4	Acero de refuerzo Trabes de Entrepiso	2.00	B3	FS	0	10
B5	Cimbra Trabes de Entrepiso	2.00	B4	SS	1	8
B6	Concreto premezclado Trabes de Entrepiso	1.00	B5	FS	0	12
B7	Acero de refuerzo Losa de Entrepiso	2.00	B4	SS	0	10
B8	Cimbra Losa de Entrepiso	2.00	B7	SF	2	8
B9	Concreto premezclado Losa de Entrepiso	1.00	B7	FS	0	12
B10	Acero de refuerzo Columnas PA	2.00	B1	FS	0	10
B11	Cimbra Columnas PA	2.00	B10	FS	2	8
B12	Concreto premezclado Columnas PA	1.00	B11	FS	0	12
B13	Acero de refuerzo Trabes de Azotea	2.00	B12	FS	0	8
B14	Cimbra Trabes de Azotea	2.00	B13	SS	1	8
B15	Concreto premezclado Trabes de Azotea	1.00	B14	FS	0	12
B16	Acero de refuerzo Losa de Azotea	2.00	B13	SS	0	8
B17	Cimbra Losa de Azotea	2.00	B16	SF	2	8
B18	Concreto premezclado Losa de Azotea	1.00	B14	FS	0	12
C1	Muros de tabicón PB	2.00	B3	FS	0	10
C2	Muros de tabicón PA	2.00	B12	FS	0	8
C3	Construcción de gárgola de concreto	1.00	B9	FS	1	8
D1	Protecciones metálicas	4.00	A1	SS	0	6
D2	Cancelería de aluminio	4.00	A1	SS	0	6
D3	Colocación de protecciones metálicas	1.00	C2	FS	0	6
D4	Colocación de cancelería de aluminio	1.00	D1	FS	0	6
E1	Instalación hidrosanitaria	3.00	D2	FS	0	6
E2	Instalación eléctrica	5.00	G1	FS	0	6
E3	Aire acondicionado	3.00	A11	SS	2	4
F1	Piso de concreto	2.00	E2	SS	3	4
F2	Forjado de escalones	1.00	B9	FS	1	4
F3	Colocación de piso de loseta	2.00	B9	FS	1	4
F4	Colocación de lambrín de azulejo	1.00	G1	FS	0	8
G1	Aplanado esponjeado	3.00	G1	SS	2	4
G2	Aplanado cerroteado	2.00	C1	FS	0	8
G3	Impermeabilizante azotea	1.00	C2	SS	0	8
G4	Pintura vinílica interior	2.00	B18	FS	1	8
G5	Pintura vinílica exterior	2.00	G1	FS	0	8
			G2	FS	0	5

Tabla 5.4 Datos de entrada del proyecto

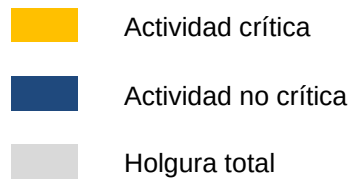
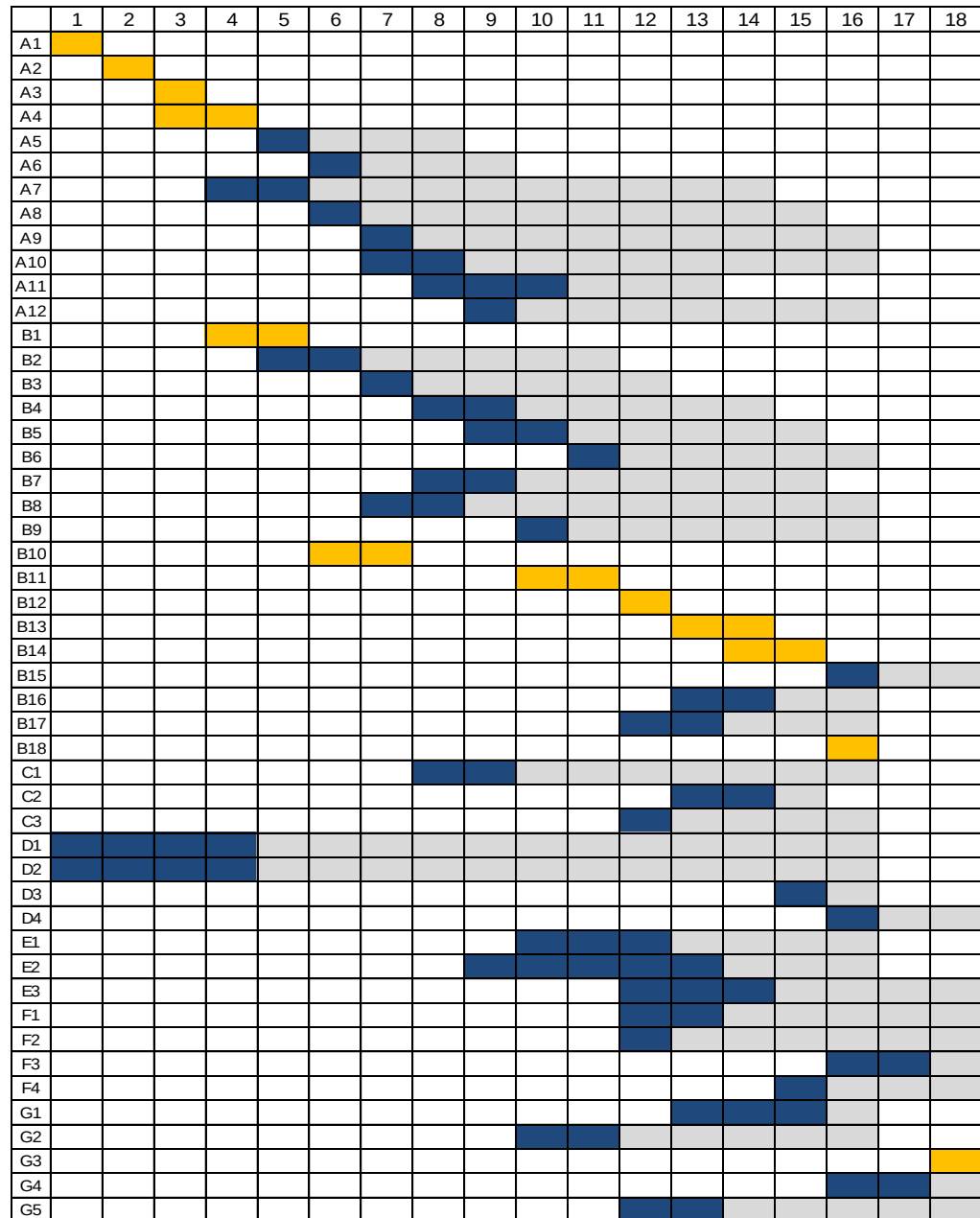


Figura 5.13 Diagrama de Gantt

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A1	6																	
A2		8																
A3			10															
A4			10	10														
A5					8													
A6						12												
A7				10	10													
A8						8												
A9							12											
A10							10	10										
A11								10	10	10								
A12									10									
B1				10	10													
B2					8	8												
B3							12											
B4								10	10									
B5									8	8								
B6											12							
B7								10	10									
B8							8	8										
B9										12								
B10						10	10											
B11										8	8							
B12												12						
B13													8	8				
B14														8	8			
B15																12		
B16													8	8				
B17												8	8					
B18																12		
C1								10	10									
C2													8	8				
C3												8						
D1	6	6	6	6														
D2	6	6	6	6														
D3															6			
D4																6		
E1										4	4	4						
E2									4	4	4	4	4					
E3												4	4	4				
F1												8	8					
F2												4						
F3																8	8	
F4															4			
G1													8	8	8			
G2										8	8							
G3																		8
G4																8	8	
G5												5	5					
Cd	18	20	32	42	36	38	52	58	62	54	36	57	61	44	26	46	16	8
Cd ²	324	400	1,024	1,764	1,296	1,444	2,704	3,364	3,844	2,916	1,296	3,249	3,721	1,936	676	2,116	256	64
Ac	324	724	1,748	3,512	4,808	6,252	8,956	12,320	16,164	19,080	20,376	23,625	27,346	29,282	29,958	32,074	32,330	32,394

Tabla 5.5 Nivelación inicial de recursos de mano de obra

Nivelación de recursos óptimo

$$NRO = \frac{706 \text{ Trabajadores}}{18 \text{ Semanas}} = 39 \text{ Trabajadores por semana}$$

Se concluye que lo más que se puede nivelar los recursos corresponde a lo que se muestra en la tabla 5.16.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A1	6																	
A2		8																
A3			10															
A4			10	10														
A5					8													
A6						12												
A7				10	10													
A8						8												
A9							12											
A10							10	10										
A11								10	10	10								
A12									10									
B1				10	10													
B2					8	8												
B3							12											
B4								10	10									
B5									8	8								
B6											12							
B7								10	10									
B8							8	8										
B9										12								
B10						10	10											
B11										8	8							
B12												12						
B13													8	8				
B14														8	8			
B15																12		
B16													8	8				
B17												8	8					
B18																12		
C1										10	10							
C2														8	8			
C3												8						
D1	6	6	6	6														
D2	6	6	6	6														
D3															6			
D4																	6	
E1											4	4	4					
E2											4	4	4	4	4			
E3																4	4	4
F1												8	8					
F2												4						
F3																	8	8
F4															4			
G1														8	8	8		
G2										8	8							
G3																		8
G4																	8	8
G5														5	5			
Cd	18	20	32	42	36	38	52	48	48	56	46	48	40	49	43	36	26	28
Cd ²	324	400	1,024	1,764	1,296	1,444	2,704	2,304	2,304	3,136	2,116	2,304	1,600	2,401	1,849	1,296	676	784
Acu	324	724	1,748	3,512	4,808	6,252	8,956	11,260	13,564	16,700	18,816	21,120	22,720	25,121	26,970	28,266	28,942	29,726

Tabla 5.6 Nivelación de recursos de mano de obra

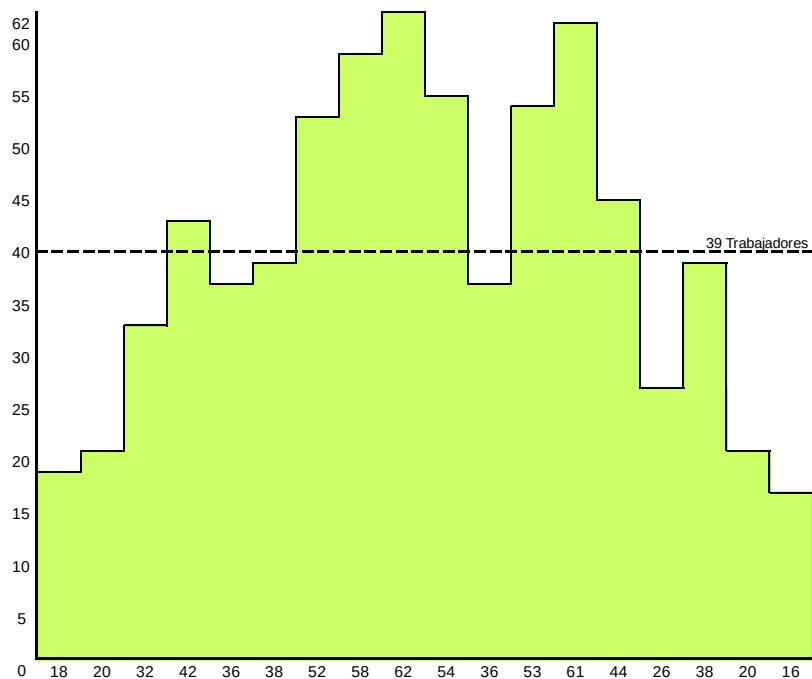


Figura 5.14 Diagrama de carga de recursos inicial

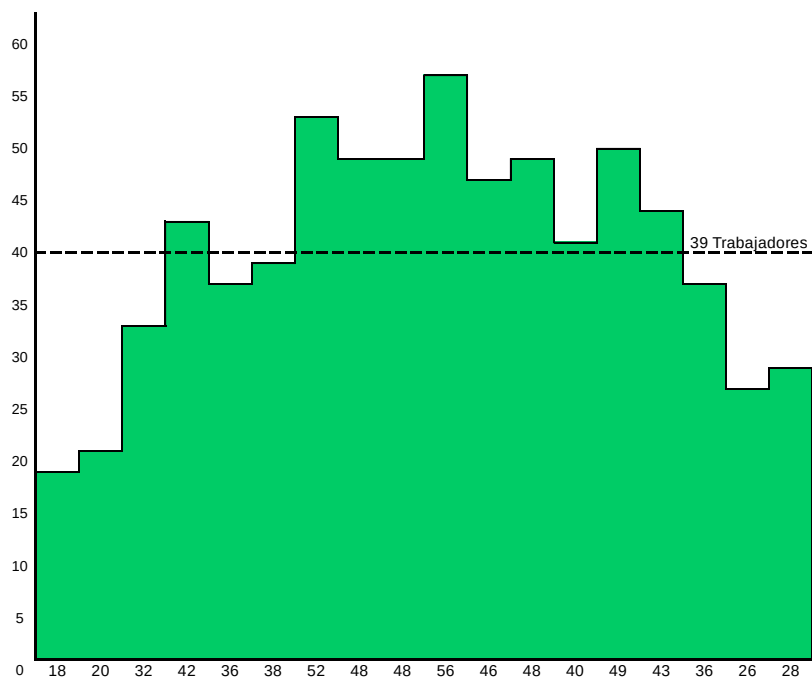


Figura 5.15 Diagrama de carga de recursos nivelado

En la figura 5.16 se muestra el mayor aplanamiento que se logra con el algoritmo de *Burgess-Killebrew*, ya que el valor de 29726 es la menor sumatoria de variancias que se puede determinar.

La programación de un proyecto, derivada de una secuencia lógica de actividades y sus duraciones, tiene una evidente repercusión sobre la distribución temporal de los recursos necesarios para su desarrollo. Esta distribución no siempre se ajusta a las condiciones del proyecto, por lo cual es necesario realizar una nivelación de recursos, que permita mejorar la curva de requerimientos.

¿Qué se gana con la nivelación de recursos de mano de obra?

- ✓ Que los consumos del recurso de mano de obra durante el período de ejecución del proyecto sea lo más uniformes posibles.
- ✓ Una distribución óptima de recurso de mano de obra que hace más regular el pago de la mano de obra.

Como estrategia de optimización de recursos se hace necesario efectuar la nivelación de recursos de mano de obra antes de la ejecución del proyecto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Aunque habitualmente la nivelación de recursos se utiliza después de programar el proyecto, es aconsejable hacerlo durante las etapas iniciales del ciclo de vida de proyectos, es decir, en las etapas de planeación y diseño. Esto, con el fin de abandonar la idea del que el recurso de mano de obra es infinito y tener una idea más clara acerca de los recursos.

Dentro de los insumos de un proyecto uno de los más complejos y determinantes en la salud de un proyecto es la mano de obra, ya que presenta un alto espectro de incertidumbre como lo es la productividad, la especialización y la calidad. Este concepto se incrementa por la falta de estandarización en el campo de la construcción.

La fuerza de trabajo de una empresa es uno de sus recursos principales. Sin trabajadores calificados, las tasas de producción serían más lentas, la calidad peor y la productividad global menor. Entonces, una vez instalado un nuevo método y establecido el estándar correspondiente, los trabajadores deben capacitarse bien para seguir el método prescrito y alcanzar el estándar deseado. Si se hace esto, los trabajadores tendrán muy pocos problemas para cumplir o exceder el estándar.

No obstante, que el algoritmo de *Burgess-Killebrew* es heurístico proporciona soluciones que se aproximan a la óptima de forma rápida lo cual representa una ventaja en su cálculo.

Dentro de la administración de proyectos es necesario enfatizar el empleo de herramientas como el *WBS (Work Breakdown Structure)* en las etapas tempranas, ya que de una estructuración correcta del proyecto se diseñará un programa real y efectivo, que obviamente reflejará una situación favorable para la nivelación de recursos.

Es conveniente en todo el proceso de la ejecución del proyecto realizar análisis de *Valor Adquirido (Earned Value)* para evaluar los tiempos y costos del proyecto en cada fecha de corte y comparar con respecto a la *Curva “S”*.

Finalmente, es imprescindible la difusión de las técnicas mencionadas, incluyéndolas en los programas de estudios de la Facultad de Ingeniería de la UNACH considerando la posibilidad de planear cursos en educación continua relacionados con la administración de proyectos, como un intento de eliminar algunos rezagos en la administración de proyectos de construcción que impiden alcanzar el éxito en los proyectos de construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- GRAJALES MARÍN, José
Técnicas de programación en construcción.
Evaluación y aplicación
Noviembre 2001
- 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.
- URIEGAS Torres, Carlos. 2003
El Sistema de Gerencia de Proyectos
Una Vuelta y un Frente, México, D. F.
- 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.
- NICOLA, Abbagnano. 2006
Diccionario de Filosofía
Fondo de Cultura Económica, México, D.F.
- YEBES, Elvira, 2007
Gestión de Proyectos con Microsoft Project 2007
Alfa-omega, México, D.F.

SCHMELKES, Corina. 2ª. Edición, 1998
Manual para la Presentación de Anteproyectos e Informes de
Investigación
Oxford, México, D.F.

JACK, Guido –CLEMENTS, James P. 2a. Edición
Administración Exitosa de Proyectos
Thomson Learning. México, D.F.

ROBB, Luis A. Décima primera edición
Diccionario para Ingenieros
Compañía Editorial Continental. México, D.F. 2006

ACKOFF, Russell L. 13ª. Edición
Rediseñando el Futuro
Editorial Limusa, S.A. de C.V.
Grupo Noriega Editores. México, 1996

NEGROE PEREZ, Gonzalo
Planeación y Gestión de Proyectos
Departamento de Sistemas, DEPI, UNAM, México

SUÁREZ SALAZAR, Carlos
Costo y tiempo en edificación
Editorial Limusa, S.A. de C.V.
Tercera edición, México, D.F.

PERNA, Norberto
Project Management
Professional Tools, MP Ediciones
Buenos Aires, Argentina, 2005

MORA, Martín & Sepúlveda, Patricio
Seminario de investigación
Limusa, Noriega Editores
México, D.F.