

PROGRAMACIÓN, PRESUPUESTOS Y CONTROL DE OBRA



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
SECCIONAL TUNJA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SNIES 1732

Melquisedec Cortés Zambrano, PhD.

PROGRAMACIÓN, PRESUPUESTOS Y CONTROL DE OBRA

Autor:
Melquisedec Cortés Zambrano

104 páginas: tamaño: 21,5 X 27,5 cm
ISBN: 978-628-7504-27-1



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

SECCIONAL TUNJA
VIGILADA MINEUCACIÓN • SNIES 1732

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS SECCIONAL TUNJA

Tunja - Boyacá - Colombia

Av. Universitaria n.º 45 - 202
Campus Avenida Universitaria
Edificio Santo Domingo de Guzmán

Calle 19 n.º 11 - 64
Campus Centro Histórico
Edificio Fr. Luis Carlos Perea Sastoque, O.P.

PBX: (8) 7440404 · Ext.: 5980

www.ustatunja.edu.co

Primera edición, 2021
ISBN: 978-628-7504-27-1

© Melquisedec Cortés Zambrano

CORRECCIÓN DE ESTILO

William Rojas

FOTOGRAFÍA, DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Departamento de Comunicaciones Seccional Tunja



COMITÉ EDITORIAL

Fr. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.
Rector Seccional

Fr. Héctor Mauricio VARGAS RODRÍGUEZ, O.P.
Vicerrector Administrativo y Financiero

Fr. Omar Orlando SÁNCHEZ SUÁREZ, O.P.
Vicerrector Académico

María Ximena Ariza García
Directora Ediciones USTA Tunja

Sandra Consuelo Díaz Bello
Directora Unidad de Investigación e Innovación

Juan Carlos Canoles Vásquez
Director Centro de Recursos para el
Aprendizaje y la Investigación

ACERCA DEL AUTOR

Melquisedec, Cortés-Zambrano

(Ph.D. en Ingeniería y Ciencia de los Materiales)

Profesor titular de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Santo Tomás, de cuyo personal docente forma parte desde hace 11 años. Imparte cursos del área de administración, e hidroambiental. Sus áreas de interés académico son los materiales, la construcción, la hidráulica, la hidrología y el análisis de procesos dinámicos.

Correo electrónico: melquisedec.cortes@usantoto.edu.co

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	12
2. PROYECTOS	15
2.1. ETAPAS PARA EL DESARROLLO DE UN PROYECTO	16
2.1.1. Etapa de factibilidad	16
2.1.2. Etapa de diseño	16
2.1.3. Etapa de construcción	17
2.1.4. Etapa de operación y mantenimiento	17
2.2. IMPORTANCIA DE LAS DECISIONES SEGÚN ETAPA	18
2.2.1. Incertidumbre	18
2.3. ESQUEMA DE UNA OBRA	19
2.4. DUEÑO	20
2.5. FORMA DE DESARROLLO DE PROYECTOS	21
2.6. ESQUEMAS DE CONTRATACIÓN	21
Diseño y construcción	21
2.6.1. Concesión (B.O.O.T.) Build, Own, Operate, Transfer.	22
2.6.2. Llave en mano	23
2.6.3. Administración delegada	24
2.6.4. Precios globales	24
2.6.5. Precios unitarios	24
2.7. RIESGOS DE LAS PARTES CONTRACTUALES SEGÚN ESQUEMAS DE CONTRATACIÓN 2	5
3. INTRODUCCIÓN A LOS PRESUPUESTOS	29
3.1. FUNCIONES DE UN PRESUPUESTO	29
3.2. PRESUPUESTO GLOBAL ESQUEMÁTICO	30
3.3. PRESUPUESTO DETALLADO	31
3.3.1. Pasos para construcción de un presupuesto detallado.....	31
4. WBS	33

5. COSTOS DIRECTOS DE OBRA.....	41
4.1 COSTO DE MATERIALES	42
4.2 COSTO DE MANO DE OBRA	42
4.2.1 Por jornal	42
4.2.2 Por subcontrato	43
4.2.3 Duración y productividad (rendimiento)	43
4.3 COSTO DE EQUIPOS	45
4.3.1 Alquiler	46
4.3.2 Leasing o arrendamiento financiero	46
4.3.3 Equipo propio	46
4.5 DESPERDICIOS	52
4.6 SALARIO REAL	54
4.6.1 Salario mínimo mensual legal vigente.....	55
4.6.2 Subsidio de transporte	55
4.6.3 Aportes parafiscales	55
4.6.4 Prestaciones sociales	56
4.6.5 Seguridad social	57
4.6.6 Dotación	58
4.6.7 Elementos de protección personal (EPP)	58
6. COSTOS INDIRECTOS DE OBRA	59
6.1. GASTOS GENERALES.....	60
6.2. HONORARIOS	62
6.2.1. Diseños Eléctricos	62
6.2.2. Diseños hidráulicos y sanitarios.....	63
6.2.3. Diseño red contra incendios.....	64
6.2.5.2. Interventoría de construcción	67
6.3. ESTUDIOS	67
7. INGENIERÍA DEL VALOR	70
7.1. HERRAMIENTAS CONCEPTUALES	73
7.2. PROCEDIMIENTO PARA LA INGENIERÍA DEL VALOR.....	73
7.2.1. Fases para la ingeniería del valor	73
8. CONTROL DE PROYECTOS	75
8.1. OBJETIVO	75
8.2. ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL	78
8.3. CONTABILIDAD	79
8.4. CONTROL PERIÓDICO	80

8.4.1. ELEMENTOS DE SEGUIMIENTO	80
8.5. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL	81
8.6. PROGRAMA DE ACTIVIDADES	81
8.6.1. Secuenciamiento	83
8.6.2. Duraciones.....	83
8.7. RELACIONES DE PRECEDENCIA	85
8.8. HOLGURA	86
8.9. DIAGRAMA DE BARRAS	87
8.10. DIAGRAMA DE NODOS	89
8.11. DIAGRAMA DE FLECHAS	94
9. ASIGNACIÓN DE RECURSOS	95
9.1. ASIGNACIÓN DE RECURSOS Y DURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES	95
9.2. ASIGNACIÓN DE RECURSOS LIMITADOS	96
10. BALANCE COSTO TIEMPO "TIME-COST TRADE OFF"	
(GANANCIA – SACRIFICIO)	101
11. INTEGRACIÓN PRESUPUESTO-PROGRAMA DE ACTIVIDADES	105
11.1. DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE CAJA	106
12. MÉTODO DEL VALOR LOGRADO "EARNED-VALUE METHOD".....	108
13. MANEJO DE INCERTIDUMBRE PERT	109
14. LEAN CONSTRUCTION	114
15. BIBLIOGRAFÍA	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Matriz de riesgos para cada esquema de contratación	26
Tabla 2: Resultados matriz de riesgos	29
Tabla 3. Listado de actividades de la WBS	40
Tabla 4. Esquema análisis de precios unitarios	42
Tabla 5. Cuadrillas de trabajo.....	46
Tabla 6. Consumidor A	51
Tabla 7. Consumidor B	51
Tabla 8. Valor unitario	52
Tabla 9. Valor total con inflación para consumidor B	52
Tabla 10. Valor total con inflación para consumidor B	52
Tabla 11. Análisis de precio unitario (a)	54
Tabla 12. Análisis de precios unitarios (b)	55
Tabla 13. Honorarios para diseños eléctricos	63
Tabla 14. Honorarios para diseños hidráulicos y sanitarios	64
Tabla 15. Honorarios de diseño de redes contra incendio	66
Tabla 16. Factores para honorarios diseños estructurales	66
Tabla 17. Honorarios para diseños arquitectónicos	67
Tabla 18. Honorarios estudios geotécnicos	68
Tabla 19. Control previo Actividad Mampostería	80
Tabla 20. Cotizaciones.....	80
Tabla 21. Datos iniciales Diagrama de barras	88
Tabla 22. Datos iniciales diagrama de nodos	91
Tabla 23. Asignación de recursos limitados	97
Tabla 24. Balance costo tiempo	104
Tabla 25. Costos de las actividades	105
Tabla 26. Información del programa de actividades	106
Tabla 27. Información del presupuesto “capítulo de mampostería”.	106
Tabla 28. Distribución de los recursos en el tiempo.....	106
Tabla 29. Distribución de los recursos en el tiempo.....	107

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Incertidumbre en las etapas de construcción	19
Gráfica 2. Importancia de las Decisiones y Costo vs Tiempo (Etapas de desarrollo del Proyecto).....	20
Gráfica 3. Esquema de actividades (a)	35
Gráfica 4. Esquema de actividades (b)	36
Gráfica 5. Numeración de actividades (a).....	37
Gráfica 6. Numeración de actividades (b)	38
Gráfica 7. Depreciación lineal vs depreciación acelerada	48
Gráfica 8. Importancia de las decisiones y esfuerzo para hacer cambios y correcciones .	77
Gráfica 9. Secuenciamiento de actividades (a).....	84
Gráfica 10. Secuenciamiento de actividades (b)	85
Gráfica 11. Ley de los rendimientos marginales decrecientes	97
Gráfica 12. Asignación de recursos	98
Gráfica 13. Nivelación de recursos.....	99
Gráfica 14. Nivelación de recursos.....	100
Gráfica 15. Esquema de asignación de recursos.....	100
Gráfica 16. Esquema de nivelación de recursos.....	101
Gráfica 17. Costos directos	102
Gráfica 18. Costos indirectos	103
Gráfica 19. Balance costo tiempo	104
Gráfica 20. Método del valor logrado o valor ganado.....	109
Gráfica 21. Distribución Beta.....	110
Gráfica 22. Distribución normal estándar	111
Gráfica 23. Normalización de la duración del proyecto	112
Gráfica 23. Modelación del costo total y su incertidumbre	113

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Interacción entre las partes	21
Ilustración 2. Esquema de diseño y construcción	23
Ilustración 3. Esquema de concesión	24
Ilustración 4. Esquema llave en mano	24
Ilustración 5. Esquema de administración de legada.....	25
Ilustración 6. Proceso de desarrollo de un proyecto	69
Ilustración 7. Mapa de costos de un proyecto	70
Ilustración 8. Control de proyectos	79
Ilustración 9. Elementos de seguimiento	82
Ilustración 10. Proceso Iterativo	83
Ilustración 11. Relaciones de precedencia (a)	86
Ilustración 12. Relaciones de precedencia (b)	87
Ilustración 13. Actividades y Duraciones.....	89
Ilustración 14. Diagrama de barras.....	90
Ilustración 15. Diagrama de nodos	91
Ilustración 16. Tiempos tempranos	92
Ilustración 17. Tiempos tardíos	93
Ilustración 18. Ruta crítica.....	94
Ilustración 19. Diagrama de flechas	95
Ilustración 20. Estimativos para la inflación.....	114
Ilustración 21. Flujo de recursos y/o información.....	115
Ilustración 22. Filosofía del desarrollo del plan de compromisos	116

1.

INTRODUCCIÓN

La gestión de proyectos busca lograr cumplir con todos los objetivos definidos en un proyecto capitalizando nuestro registro histórico, como conocimiento generado en cada proyecto a través de la captura de las lecciones aprendidas. La consistencia y repetitividad aumentan las capacidades en la gestión de proyectos exitosos que logran las metas de las organizaciones, los estándares, las mejores prácticas, técnicas y el uso de herramientas.

El registro histórico contribuye al aprendizaje organizacional en lo que compete a costos, este debe aplicar a todos los proyectos, debe ser organizado teniendo en cuenta la taxonomía de los proyectos, la ubicación geográfica y además debe estar debidamente actualizado. El registro histórico más valioso es el propio es decir el que he construido a lo largo de mi recorrido y experiencia vital, cuando trabajo con registro histórico ajeno, p.e. construdata, estoy aumentando la incertidumbre y a su vez el riesgo.

El principal desafío de la gestión de proyectos es lograr desarrollar el proyecto en el tiempo asignado. Además, hay un objetivo secundario y más ambicioso, que consiste en optimizar la asignación y la integración de recursos necesarios para cumplir los objetivos previamente definidos.

Uno de los objetivos de este libro es permitir al lector una idónea gestión del proyecto de construcción, que incluya una adecuada estructuración de la línea de base a partir de una correcta elaboración y análisis del presupuesto, programación y alcance del proyecto para a partir de estos elementos, tener los estándares para realizar el control integrado de tiempo-costo y alcance del proyecto, apoyándose en los procesos y metodologías propuestas.

Para cumplir lo anterior es necesario proporcionar al lector una base teórica pertinente y actualizada relacionada con el control de proyectos de construcción y sus fases iniciales de

planificación, diseño, presupuestación y programación. De esta forma se podrá implementar una adecuada gestión del alcance, gestión de la integración, gestión del costo y gestión de plazo, todo esto acorde a las buenas prácticas de ingeniería, llegando a correlacionar la gestión estratégica con la gestión del proyecto.

2.

PROYECTOS

El comienzo de un proyecto se produce cuando el dueño determina que tiene una necesidad que puede satisfacerse mediante el desarrollo de una obra civil. Luego se precisan las necesidades del dueño, sus prioridades, los requisitos de la obra, las limitaciones y las partes interesadas; esto con el fin de definir el tipo de proyecto a desarrollar y el tipo de contratación, entre otras características.

El desarrollo de un proyecto de construcción, involucra el trabajo en equipo de un grupo interdisciplinar de personas que, cuentan con la experiencia y los conocimientos y demás requerimientos para el direccionamiento, toma de decisiones y estructuración de actividades que fundamentan la planeación, diseño y ejecución de un proyecto. Lo anterior enmarcado en un límite de tiempo.

En síntesis, cada proyecto es único y en general, las características de un proyecto pueden clasificarse así:

- **Debe tener un propósito:** Debe satisfacer una necesidad, solucionar un problema y está delimitado por tiempo, recursos (dinero), calidad, cronograma y presupuesto.
- **Balance:** Deben estar coordinados los factores de tiempo, costo y calidad.
- **Temporal:** Es la vida útil que va a prestar servicio el proyecto terminado; además se refiere también a la existencia de un tiempo específico para el desarrollo de cada proyecto, es decir, tiempo o temporada en la que mejor se desarrolla un proyecto. Un proyecto es temporal debido a que está acotado por una fecha de inicio y una fecha final.
- **Complejos:** Es necesaria la interacción entre un equipo de trabajo interdisciplinar, que se encargará de la toma de decisiones. En ese sentido esta característica se torna de gran importancia ya que las decisiones que se tomen impactarán “aguas abajo” y afectarán directamente el desarrollo del proyecto.
- **Es incierto:** Cada proyecto está ligado a un riesgo o incertidumbre.

- **Se ve afectado por su entorno:** Condiciones del proyecto en cuanto a condiciones especiales de su ubicación, incluyendo también condiciones políticas y de orden público.

2.1 ETAPAS PARA EL DESARROLLO DE UN PROYECTO

2.1.1. Etapa de factibilidad

Esta etapa busca generar una idea para la satisfacción de una necesidad, idea que se va conocer como embrión de soluciones.

- **Identificar una necesidad o problema:** Esto basándose en estudios de mercado que reconozcan la oferta y demanda y la proyección de cada una de estas, para así generar un diagnóstico que finalmente evidenciará el problema.
- **Propuesta de alternativas:** Se proponen al menos tres alternativas para la solución del problema identificado.
- **Viabilidad de alternativas:** Se evalúa la viabilidad de los factores técnicos, financieros, legales y ambientales que afectan cada una de las alternativas propuestas. Si al menos un factor no es viable, la alternativa de solución se descarta. Por el contrario, si resulta que dos o más alternativas son viables, la elección queda a consideración de las personas a cargo de la factibilidad.
- **Embrión de soluciones:** El embrión de soluciones es básicamente la alternativa final seleccionada y que se propone como solución al problema planteado. El embrión de soluciones se presenta de manera esquemática, plasmándolo gráficamente.

2.1.2. Etapa de diseño

Esta etapa requiere de un grupo interdisciplinario, que organice, delegue, controle y asigne tareas. Busca plasmar la alternativa de solución en el papel.

La etapa de diseño comienza con el refinamiento del esquema presentado en el embrión de soluciones. Además de esto, se compone de:

- **Memoria de cálculo:** Aquí se detallan cuentas, cálculos, tamaños, especificaciones y recomendaciones.

- Planos: Se materializa la memoria de cálculo, se especifican cotas, niveles, especificaciones de construcción, cuantías, etc.
- Presupuesto: Se elabora un presupuesto detallado y con cantidades que permita dimensionar los gastos económicos que pueda tener el proyecto.

2.1.3. Etapa de construcción

Aquí se presenta la solución real materializando el diseño, y necesita del trabajo de un equipo interdisciplinario para llevar a cabo todas las acciones de ingeniería, arquitectura, costos, geotecnia, consultoría, contratación y adquisiciones que requiera la ejecución del proyecto, abarcando personal desde ayudantes, obreros y oficiales hasta gerentes, directores de obra, residentes, interventores, etc.

2.1.4. Etapa de operación y mantenimiento

Es la puesta en marcha o funcionamiento de la obra, donde se determina el grado de éxito del proyecto según su desempeño. Esta etapa requiere de acciones de mantenimiento de carácter rutinario y no rutinario que se llevarán a cabo durante toda la vida útil de la obra, es decir, hasta que es obsoleto, hasta que deja de suplir la necesidad por la que fue construido.

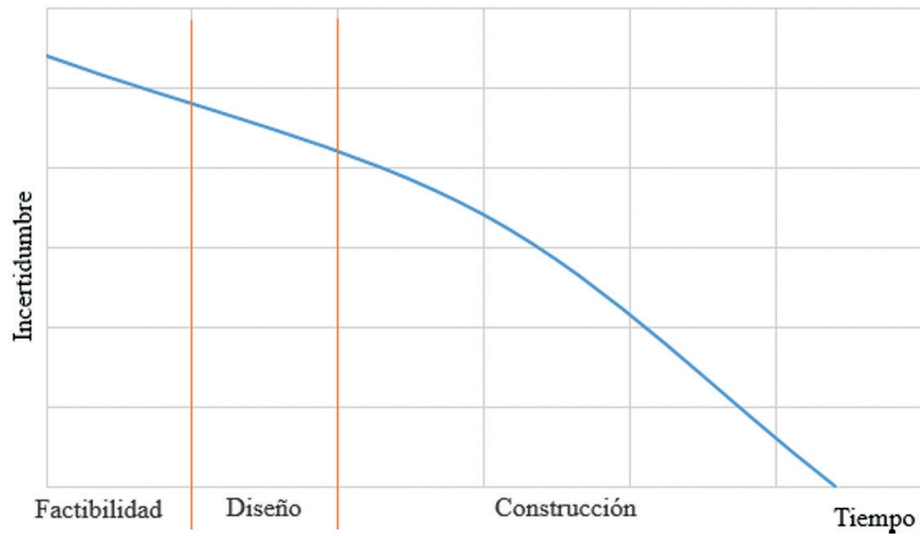
Se resalta que, el no cumplimiento o mal funcionamiento de las actividades de operación y mantenimiento, pueden verse reflejadas en la disminución de la vida útil de la obra.

2.2. IMPORTANCIA DE LAS DECISIONES SEGÚN ETAPA

2.2.1. Incertidumbre

Como se observa en la *gráfica 1*. La incertidumbre va disminuyendo a medida que avanzan las etapas de desarrollo del proyecto, esto se traduce en que en el comienzo del proyecto la incertidumbre es muy grande.

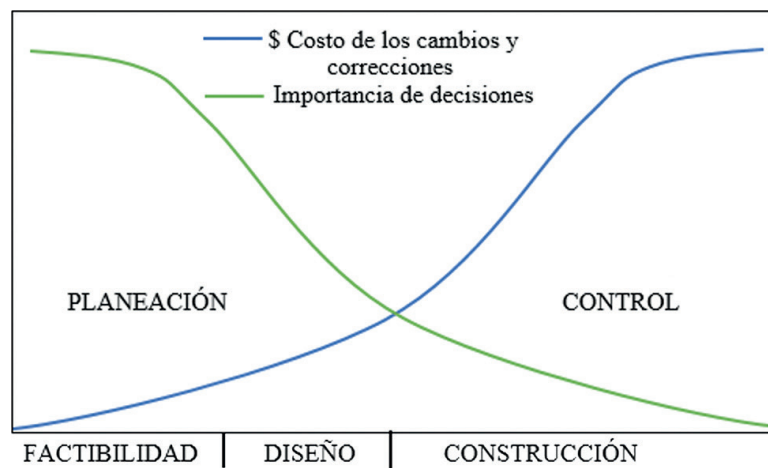
Gráfica 1. Incertidumbre en las etapas de construcción



Fuente: Autor

Otra característica importante en el desarrollo de las etapas de construcción que se relaciona con la incertidumbre, es la importancia de las decisiones, ésta, va disminuyendo a medida que las etapas avanzan. En ese sentido, las decisiones son de gran importancia en el comienzo del desarrollo y van perdiendo importancia a medida que avanza el proyecto. Sin embargo, a medida que disminuye la importancia de las decisiones, aumentan los costos, como se muestra en la *gráfica 2*.

Gráfica 2. Importancia de las Decisiones y Costo vs Tiempo (Etapas de desarrollo del Proyecto)

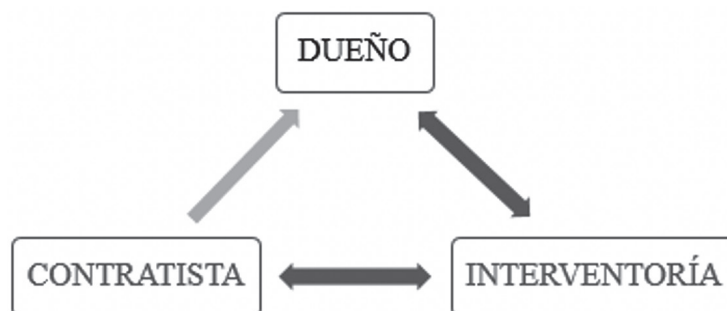


Fuente: Autor

2.3. ESQUEMA DE UNA OBRA

- Consultoría: Diseña.
- Gerencia: Administra.
- Contratista: Construye, ejecuta.
- Interventoría: Regula.

Ilustración 1. Interacción entre las partes



Fuente: UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN. Guía práctica para el manejo e interventoría de obras civiles bajo el esquema de gestión de la calidad. Medellín. Editorial universidad de Medellín. 2006.

2.4. DUEÑO

Es fundamentalmente la persona que posee los recursos financieros y que desea invertirlos en un proyecto de construcción.

Autocontenido o integración vertical: Es esencialmente aquella persona que cuenta con las capacidades no sólo económicas, sino también con los conocimientos y experiencia necesarios para liderar en su totalidad las etapas que conforman el proyecto, desde la planeación y el diseño hasta la construcción, incluyendo la puesta en marcha de la obra ejecutada y de ser necesario, el *marketing*.

Delegador: Aunque puede contar con la capacidad financiera, se ve en la necesidad de delegar las funciones requeridas a personas capacitadas y con experiencia en competencias específicas para el óptimo desarrollo del proyecto. Para el ingeniero civil, este tipo de dueño puede asumirse como un cliente.

2.5. FORMA DE DESARROLLO DE PROYECTOS

Sector público: La principal característica es que el dueño es el estado; un proyecto del sector público busca llevar a cabo un trabajo material en un bien inmueble: construcción, mantenimiento y/o instalación. En el sector público el estado delega, este no puede poseer las capacidades de un dueño con integración vertical. Además, la contratación pública siempre debe contar con la participación de interventoría; si el estado no delega a un interventor, el mismo estado asume la interventoría de la obra.

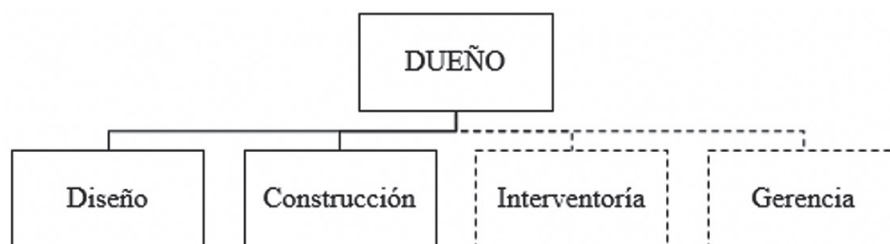
Privado: El dueño puede ser cualquier persona natural con la capacidad financiera para llevar a cabo el proyecto. En el sector privado, el dueño decide si hay o no interventoría y quien la ejecuta, es decir, si el mismo dueño ejerce la interventoría o si la delega a un contratista, esto dependerá del esquema de contratación que el dueño escoja.

2.6. ESQUEMAS DE CONTRATACIÓN

Diseño y construcción

El dueño delega la etapa de diseño y construcción a uno o más contratistas, que se encarguen en conjunto o por separado de la realización del diseño y la construcción del proyecto. En este esquema, generalmente el constructor se encarga de la administración y el dueño decide cómo contratar la interventoría, delegándola a un tercero o asumiéndola él mismo. Ver *ilustración 2*.

Ilustración 2. Esquema de diseño y construcción



Fuente: Autor

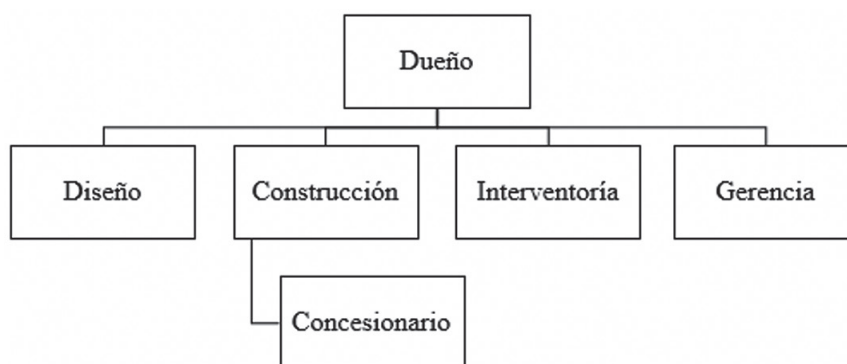
Nota: Las líneas punteadas representan que, esta función en la obra puede asignarse o no a contratistas diferentes a los encargados de ejecutar el diseño y la construcción.

2.6.1. Concesión (B.O.O.T.) Build, Own, Operate, Transfer.

El dueño delega a un contratista que ejecuta la obra, donde este se hace cargo del costo total del proyecto. Luego, su forma de pago es mediante un usufructo generado por la operación del proyecto terminado, es decir, el contratista recibe el pago total de su trabajo, incluyendo utilidades, por medio de la operación de la obra, no obstante, debe hacerse cargo del mantenimiento de la misma para que al momento de entregar la obra esté completamente funcional y en buen estado.

En este esquema el dueño se conoce como el concedente y el contratista como concesionario, además, para poder realizar esta contratación, con concesionario debe tener buena certidumbre en cuanto demanda del servicio de la obra para que los ingresos que genere la misma, sean suficientes para recuperar la inversión y generar utilidades. Aquí, la administración está a cargo del constructor y la interventoría es asignada por el dueño. Del mismo modo, el concesionario necesita de una buena certidumbre de la demanda que va a generar la obra.

Ilustración 3. Esquema de concesión

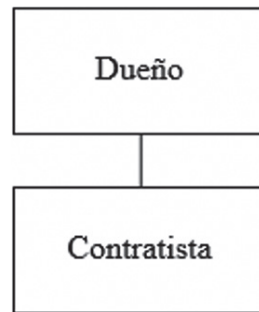


Fuente: Autor

2.6.2. Llave en mano

El contratista se encarga de todo y entrega el proyecto operando, en ese sentido, el contratista es el responsable de todas las etapas, desde la planeación y diseño hasta la entrega de la obra funcionando. Este esquema se caracteriza porque lo enmarca un límite de tiempo y se estima un presupuesto global inicial que generalmente se sobrepasa.

Ilustración 4. Esquema llave en mano

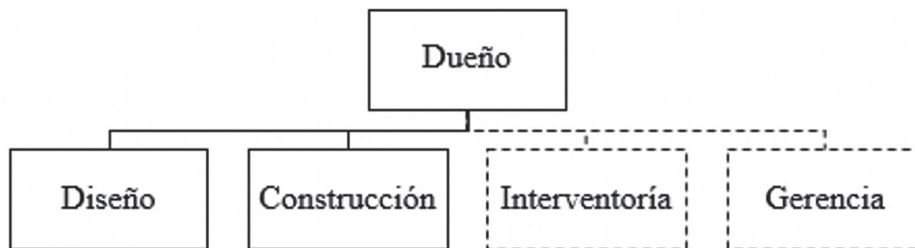


Fuente: Autores

2.6.3. Administración delegada

El dinero es administrado por un tercero que es asignado por el dueño. El administrador recibe una remuneración por su labor, pero esto no significa que esté sujeto a subordinación, él elige el equipo de trabajo interdisciplinar necesario para el proyecto, sin embargo, el dueño es quien asume la responsabilidad no sólo de proveer los fondos económicos, sino que también de los riesgos legales que representa la realización de la obra.

Ilustración 5. Esquema de administración de legada



Fuente: Autor

2.6.4. Precios globales

El contratista es el único responsable de la contratación del personal y de la generación de subcontratos, así como del suministro de materiales que se requieran para la ejecución de la obra. Este recibirá un pago fijo por las labores ejecutadas, que incluyen los valores de costos directos e indirectos. Originalmente, este tipo de contrato no tiene en cuenta adicionales o mayores cantidades de obra de las ya estipuladas.

2.6.5. Precios unitarios

En este esquema se establece que el pago por el trabajo realizado, conocido como unidades o cantidades de obra. Es el costo que resulta al sumar el producto entre cada una de las cantidades de trabajo realizadas y sus respectivos precios unitarios, esto incluye materiales, mano de obra, equipo y herramientas empleadas; esto se conoce como costos directos. El contratista se compromete a realizar las actividades estipuladas en el contrato. El contratante está obligado a pagar todas las actividades o cantidades de obras ejecutadas adicionalmente y que hayan sido ordenadas y aprobadas previamente por el mismo.

2.7. RIESGOS DE LAS PARTES CONTRACTUALES SEGÚN ESQUEMAS DE CONTRATACIÓN

Se plantea una matriz para comparar y evaluar bajo los mismos criterios, los riesgos que se pueden presentar en cada uno de los esquemas de contratación, considerando además cuál de las partes contractuales debería asumir la responsabilidad de dicho riesgo, esto para determinar cuál esquema de contratación ofrece un mayor riesgo para el dueño y cuál para el contratista. Ver *tabla 1*

Los riesgos mostrados aquí son basados en los propuestos por Ruiz y García (2006).

Tabla 1: Matriz de riesgos para cada esquema de contratación

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	
RIESGO	¿QUIÉN LO ASUME?
Incrementos en costos operativos	Contratista
Incremento de precios de insumos	Contratista
Falla originada en retrasos en obtención de permisos, aprobaciones, etc.	Contratista
Cambios en la demanda	N. A.
Reducción inesperada en cantidad o calidad, que implique una reducción de la demanda	N. A.
Tipos de cambio, tasas de interés	Dueño
Cambios legales	Dueño
Fuerza Mayor Política	Dueño
Incidentes ambientales	Contratista

CONCESIÓN	
RIESGO	¿QUIÉN LO ASUME?
Incrementos en costos operativos	Concesionario
Incremento de precios de insumos	Concesionario
Falla originada en retrasos en obtención de permisos, aprobaciones, etc.	Concedente
Cambios en la demanda	Concesionario
Reducción inesperada en cantidad o calidad, que implique una reducción de la demanda	Concesionario
Tipos de cambio, tasas de interés	Concesionario
Cambios legales	Concesionario
Fuerza Mayor Política	Concedente
Incidentes ambientales	Concesionario
LLAVE EN MANO	
RIESGO	¿QUIÉN LO ASUME?
Incrementos en costos operativos	Contratista
Incremento de precios de insumos	Contratista
Falla originada en retrasos en obtención de permisos, aprobaciones, etc.	Contratista
Cambios en la demanda	N. A.
Reducción inesperada en cantidad o calidad, que implique una reducción de la demanda	N. A.
Tipos de cambio, tasas de interés	Contratista
Cambios legales	Contratista
Fuerza Mayor Política	Dueño
Incidentes ambientales	Contratista
ADMINISTRACIÓN DELEGADA	
RIESGO	¿QUIÉN LO ASUME?
Incrementos en costos operativos	Dueño
Incremento de precios de insumos	Dueño
Falla originada en retrasos en obtención de permisos, aprobaciones, etc.	Contratista
Cambios en la demanda	N. A.
Reducción inesperada en cantidad o calidad, que implique una reducción de la demanda	N. A.
Tipos de cambio, tasas de interés	Dueño
Cambios legales	Dueño
Fuerza Mayor Política	Dueño
Incidentes ambientales	Dueño

PRECIOS GLOBALES	
RIESGO	¿QUIÉN LO ASUME?
Incrementos en costos operativos	Contratista
Incremento de precios de insumos	Contratista
Falla originada en retrasos en obtención de permisos, aprobaciones, etc.	Contratista
Cambios en la demanda	N. A.
Reducción inesperada en cantidad o calidad, que implique una reducción de la demanda	N. A.
Tipos de cambio, tasas de interés	Contratista
Cambios legales	Dueño
Fuerza Mayor Política	Dueño
Incidentes ambientales	Contratista
PRECIOS UNITARIOS	
RIESGO	¿QUIÉN LO ASUME?
Incrementos en costos operativos	Dueño
Incremento de precios de insumos	Contratista
Falla originada en retrasos en obtención de permisos, aprobaciones, etc.	Dueño
Cambios en la demanda	N. A.
Reducción inesperada en cantidad o calidad, que implique una reducción de la demanda	N. A.
Tipos de cambio, tasas de interés	Dueño
Cambios legales	Contratista
Fuerza Mayor Política	Dueño
Incidentes ambientales	Contratista

Fuente: Autor

Para determinar cuál de las dos partes contractuales (dueño y contratista), presenta mayor riesgo en los esquemas de contratación, se cuenta las veces que aparece por cada esquema en los riesgos propuestos en la matriz plateada, de ese modo, sumara una unidad cada vez que sea referenciado cada una de las partes. Los resultados de esta evaluación se aprecian en la *tabla 2*.

Tabla 2: Resultados matriz de riesgos

ESQUEMA DE CONTRATACIÓN	CONTRATISTA	DUEÑO
Diseño y construcción	4	3
Concesión	7	2
Llave en mano	6	1
Administración delegada	1	6
Precios globales	5	2
Precios unitarios	3	4

Fuente: Autor

Se observa que los esquemas de contratación que representan un mayor riesgo para el contratista son los esquemas de concesión y llave en mano. En contraposición, el mayor riesgo para el dueño es para el esquema de contratación de administración delegada.

1.

3.

INTRODUCCIÓN A LOS PRESUPUESTOS

Un presupuesto es una estimación anticipada de un costo, donde se deben identificar las necesidades y recursos requeridos en el proyecto, incluyendo dimensiones, materiales, mano de obra, equipo y servicios. Un presupuesto también está conformado por costos directo y costos indirectos.

Entre más detallado esté un presupuesto, entre más específico en cuanto a cantidades y costos reales de los materiales, menor incertidumbre va a generar este. Sin embargo, difícilmente el costo final de un proyecto va a coincidir exactamente con el presupuesto modelado inicialmente. En ese sentido, se busca que el presupuesto real, se acerque por encima al presupuesto planteado. Es decir, se debe buscar que el presupuesto planteado sea mayor al presupuesto real final. No obstante, esta diferencia debe ser muy pequeña para considerar que el presupuesto planteado fue exitoso, de lo contrario se considera un presupuesto mal planteado.

Parte fundamental de los presupuestos es el registro histórico con el que se cuenta, esto es básicamente la experiencia documentada y organizada de forma tal que pueda ser reutilizada en las diferentes etapas del desarrollo de nuevos proyectos.

3.1. FUNCIONES DE UN PRESUPUESTO

- **Planear:** A mayor planeación se reduce la incertidumbre, lo que genera menor riesgo.
- **Control:** Controla el flujo de caja, tiempo y decisiones. Hace que el desarrollo del proyecto sea más proactivo.
- **Comunicación:** El presupuesto ayuda a organizar cada actividad.

- **Manejo de recursos:** Influye en el control del tiempo y además controla decisiones. frente al dinero para la solicitud prestamos, por ejemplo. ¿Qué recursos?, ¿Cuánto y Cuándo de cada recurso? (estimativo de tiempos).
- **Manejo financiero:** Rentabilidad adecuada para los inversionistas, establecimiento de flujo de caja, en función de los tiempos y los ingresos. (Liquidez a lo largo del proyecto).
- **Fortalece el registro histórico:** Está contribuyendo al aprendizaje organizacional en lo que compete a costos.
- **Imprevistos:** Se puede determinar lo que puede pasar, disminuye la incertidumbre y permite prever las situaciones que se puedan presentar

3.2. PRESUPUESTO GLOBAL ESQUEMÁTICO

Este tipo de presupuesto es generalmente planteado en la etapa de factibilidad, donde se busca dar un acercamiento inicial al costo del proyecto.

Se dimensiona empleando métodos de globalización de presupuestos basados en poca información: índices para proyectos inmobiliarios y proyectos de infraestructura. Estos índices se pueden presentar por metros lineales, metros cuadrados, metros cúbicos o por unidad de construcción. Esta información hace que disminuya la incertidumbre y se fundamenta en el registro histórico personal y/o externo, y está organizado por tipología, ubicación geográfica y ubicación temporal.

Índices más usados:

- ✓ Costo por metro cuadrado para proyectos inmobiliarios
- ✓ Costo por metro cúbico para proyectos inmobiliarios
- ✓ Costo por metro lineal para proyectos lineales
- ✓ Costo por metro cuadrado para proyectos de infraestructura
- ✓ Costo por metro cúbico para proyectos de infraestructura
- ✓ Costo por unidad de servicio
- ✓ Costo por unidad de producción (plantas industriales)⁷

Importante tener en cuenta la actualización de estos índices alimentando nuestro registro histórico con base en la taxonomía de cada proyecto y su ubicación geográfica.

El costo por metro cuadrado es función del área construida, p.e. área de cubierta de borde a borde exterior de muro sin descontar ductos piso por piso. El costo por metro cúbico es función del volumen construido, se utiliza principalmente en donde las alturas no son constantes, p.e., iglesias, teatros, hospitales etc. Un Hotel, un parqueadero, un colegio, tienen en común que prestan un servicio por unidad, en este caso se tiene un índice de costo por unidad de servicio, nuevamente debo tener en cuenta la actualización del índice, la taxonomía y la ubicación del proyecto.

Cuando uso registro histórico ajeno (p.e. Construdata), estoy aumentando la incertidumbre y a su vez aumentando el riesgo, por tanto, el registro histórico más valioso es el registro histórico propio.

3.3. PRESUPUESTO DETALLADO

Este presupuesto es mucho más detallado y permite un acercamiento más acertado al costo real del proyecto. Para el planteamiento de este, es necesaria la recopilación de información que va desde visita al sitio donde se va a desarrollar el proyecto, hasta el contacto con los proveedores, subcontratistas, etc.

3.3.1. Pasos para construcción de un presupuesto detallado

- **Paso 1:** Inspección visual para la identificación de topografía, accesos, presencia de vegetación, elementos a demoler y condiciones generales del lugar.
- **Paso 2:** Construir la WBS
- **Paso 3:** Determinar los costos directos y los costos indirectos

En la ilustración 6 presentamos el proceso de desarrollo para la consolidación y presentación de presupuestos detallados.

Como ya se mencionó anteriormente el segundo paso para construir un presupuesto detallado es la WBS (Work Breakdown Structure) o estructura de división de trabajo. Se trata de una desagregación del proyecto en actividades orientadas a la responsabilidad de cada uno. Se compone de diferentes capítulos los cuales se subdividen en una serie de actividades las cuales tienen una secuencia lógica.

Para la construcción de una WBS se debe tener en cuenta que se construye de arriba hacia abajo, en secuencia, con un orden lógico, este orden lógico está sujeto a cambios dependiendo al grupo de trabajo que la crea, pero siempre habrá cosas en común en el mismo proyecto que se esté realizando además es necesario que el creador o creadores tengan experiencia sobre el tema. Las diferentes actividades que se describen en cada capítulo, pueden ser predecesoras o dependientes, las actividades predecesoras son aquellas que anteceden de otras y las actividades dependientes son aquellas que dependen de algo a alguien para poderse ejecutar, también cabe resaltar que las actividades que dependen de muchas otras actividades son las más riesgosas y las más importantes.

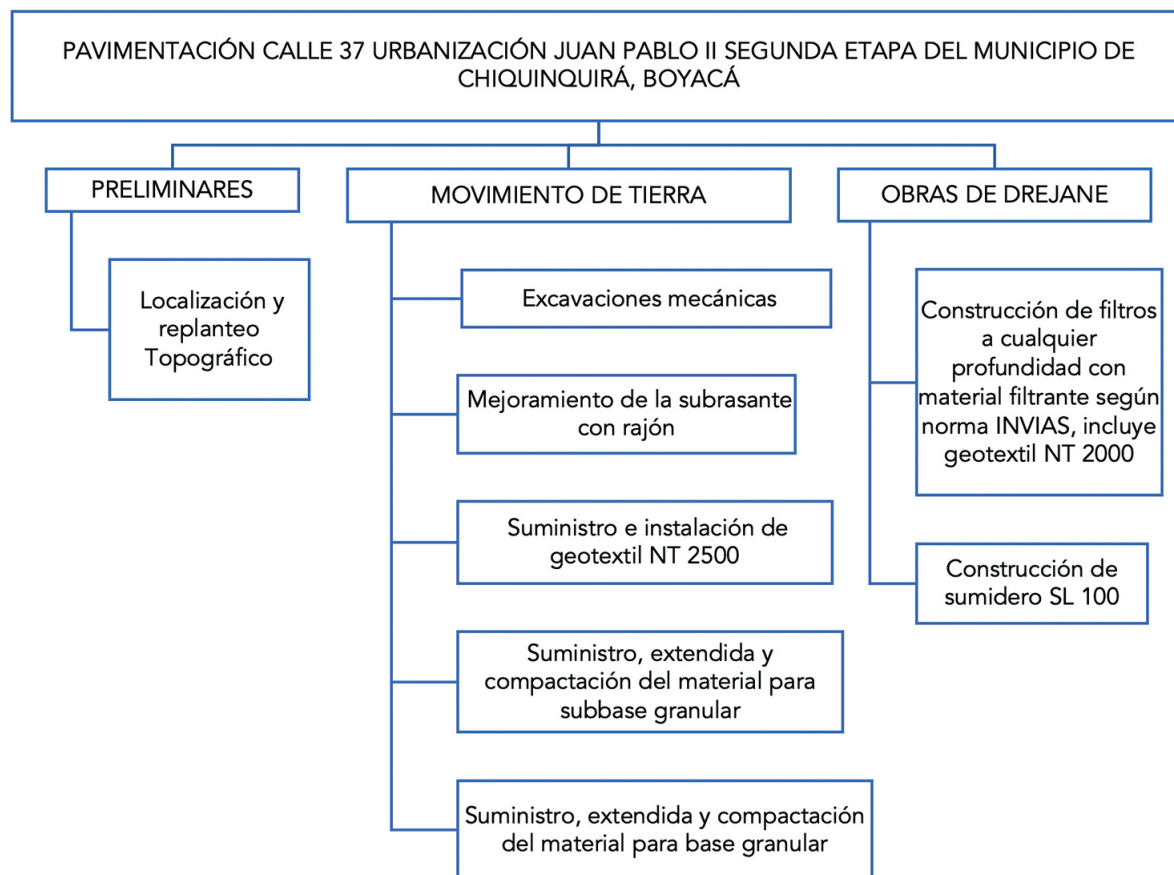
Luego de tener presentes todos estos aspectos para la construcción de una WBS el primer paso para su construcción es la creación de un esquema que presenta el orden de los capítulos y actividades por realizar, luego tenemos la asignación de números que refuerzan el orden de los capítulos y actividades y por último tenemos la creación de un listado secuencial de los pasos anteriores.

La WBS se utiliza en todos los sectores campos de la vida del ser humano desde una simple actividad rutinaria como la puesta de un par de zapatos, en el trabajo, en la empresa, y en la universidad.

A continuación, *gráficas 3, 4, 5, 6* se presenta un ejemplo, con un paso a paso de la construcción de una WBS. Realizada en la pavimentación de una calle en el municipio de Chiquinquirá, Boyacá.

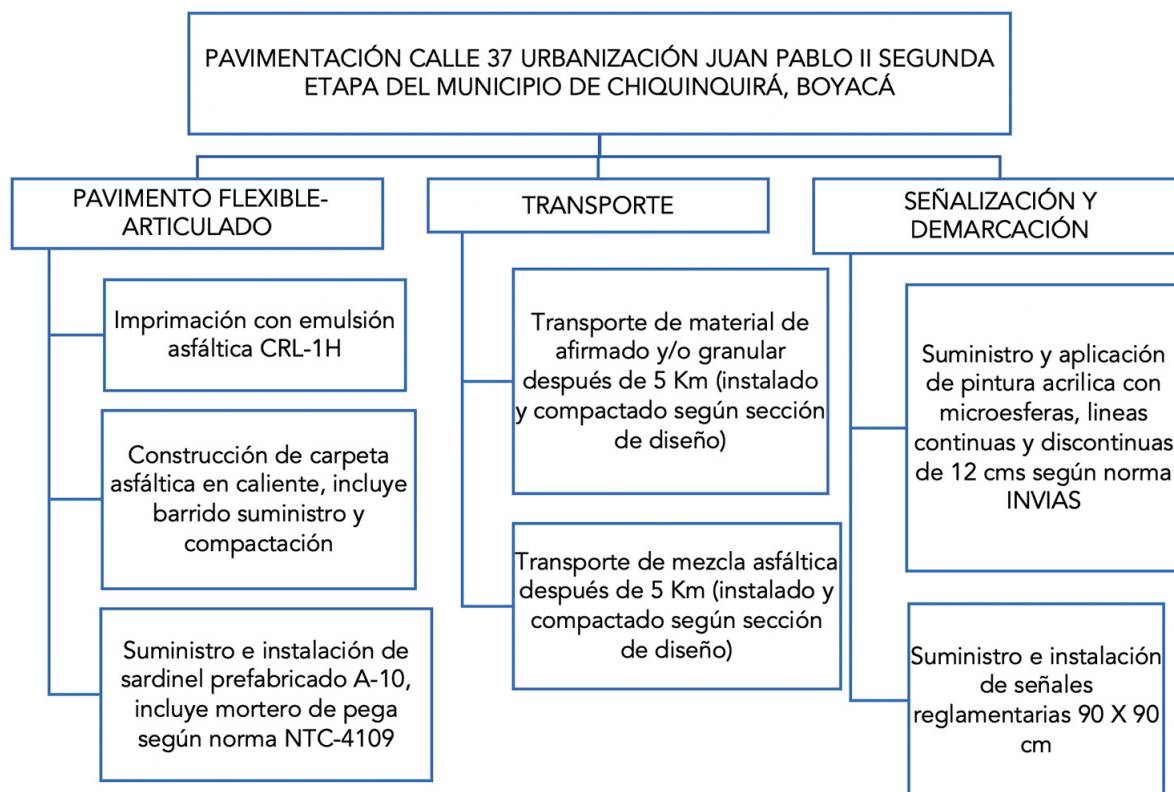
Paso 1. Esquema

Gráfica 3. Esquema de actividades (a)



Fuente: Autor

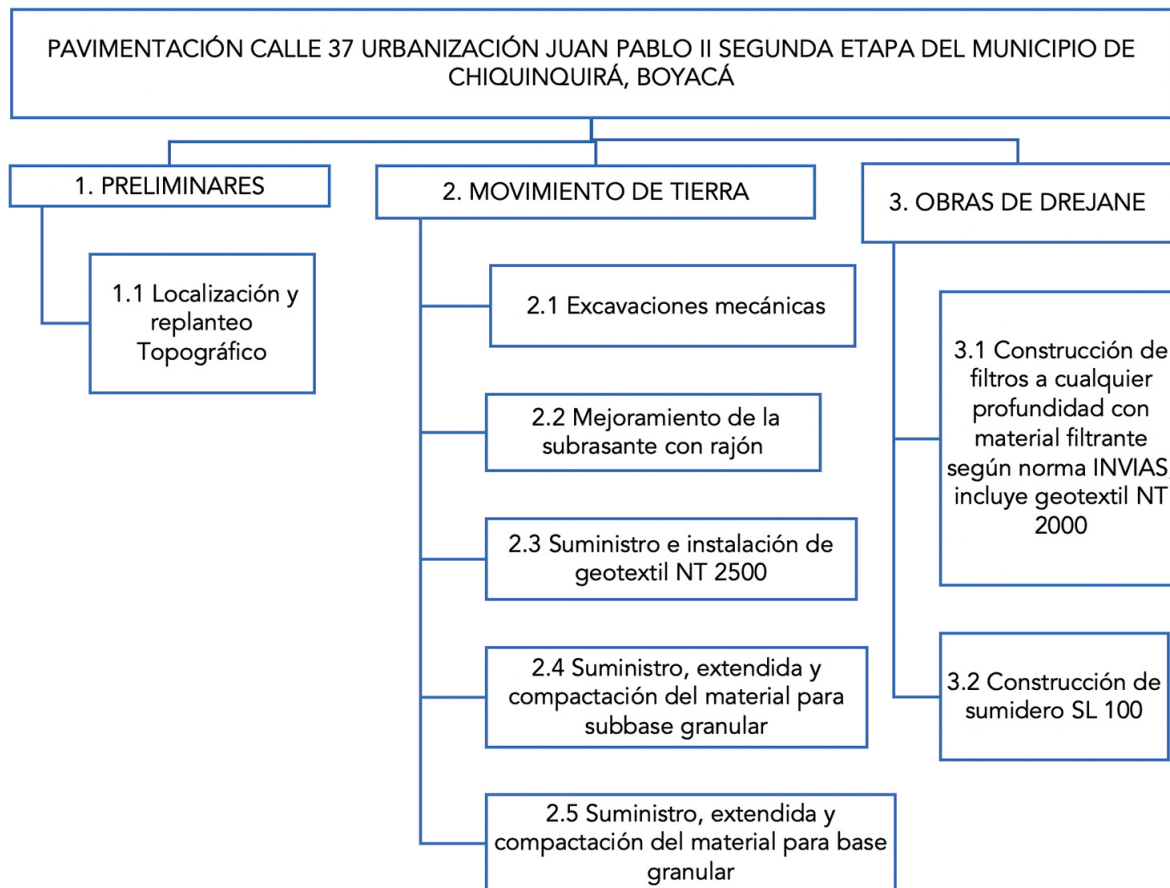
Gráfica 4. Esquema de actividades (b)



Fuente: Autor

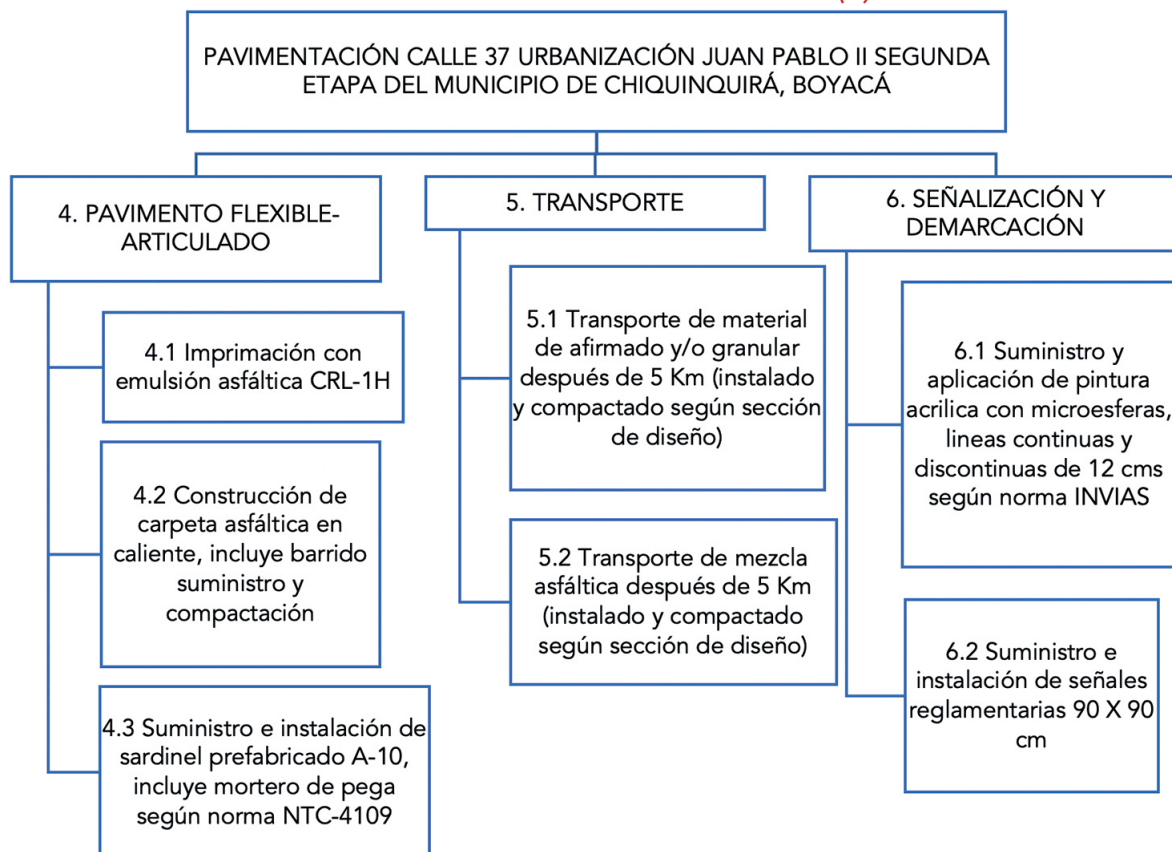
Paso 2. Numeraciones

Gráfica 5. Numeración de actividades (a)



Fuente: Autor

Gráfica 6. Numeración de actividades (b)



Fuente: Autor

Paso 3. Listado

Pavimentación de la calle 37, urbanización Juan Pablo II segunda etapa.
Municipio de Chiquinquirá, Boyacá

1. PRELIMINARES

1.1 localización y replanteo topográfico

2. MOVIMIENTO DE TIERRA

2.1 excavaciones mecánicas

2.2 mejoramiento de la subrasante con rajón

2.3 suministro e instalación de geotextil NT 2500

2.4 suministro, extendida y compactación del material para subbase granular

2.5 suministro, extendida y compactación del material para base granular

3. OBRAS DE DRENAJE

3.1 construcción de filtros a cualquier profundidad con material filtrante según norma INVIAS, incluye geotextil NT 2000

3.2 construcción de sumidero SL 100

4. PAVIMENTO FLEXIBLE-ARTICULADO

4.1 imprimación con emulsión asfáltica CRL-H1

4.2 construcción de carpeta asfáltica en caliente, incluye barrido suministro y compactación

4.3 suministro e instalación de sardinel prefabricado A-10, incluye mortero de pega según norma NTC-4109

5. TRANSPORTE

5.1 transporte de material de afirmado y/o granular después de 5 km (instalado y compactado según sección de diseño)

5.2 transporte de mezcla asfáltica después de 5 km (instalado y compactado según sección de diseño)

6. SEÑALIZACIÓN Y DEMARCACIÓN

6.1 suministro y aplicación de pintura acrílica con microesferas, líneas continuas y discontinuas de 12 cm según norma INVIAS

6.2 suministro e instalación de señales reglamentarias 90 x 90 cm

Cabe resaltar la importancia de la asignación de la unidad de medida para cada ítem, ya que es la manera de cuantificar y cobrar la actividad para nuestro caso de estudio tenemos

Tabla 3. Listado de actividades de la WBS

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
1.0	PRELIMINARES	
1.1	Localización y replanteo topográfico	km
2.0	MOVIMIENTO DE TIERRA	
2.1	Excavaciones mecánicas	m ³
2.2	Mejoramiento de la subrasante con rajón	m ³
2.3	Suministro e instalación de geotextil NT 2500	m ²
2.4	Suministro, extendida y compactación del material para subbase granular	m ³
2.5	Suministro, extendida y compactación del material para base granular	m ³

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
3.0	OBRAS DE DRENAJE	
3.1	Construcción de filtros a cualquier profundidad con material filtrante según norma INVIAS, incluye geotextil NT 2000	m ³
3.2	Construcción de sumidero SL 100	UN
4.0	PAVIMENTO FLEXIBLE-ARTICULADO	
4.1	Imprimación con emulsión asfáltica CRL-H1	m ²
4.2	Construcción de carpeta asfáltica en caliente, incluye barrido suministro y compactación	m ³
4.3	Suministro e instalación de sardinel prefabricado A-10, incluye mortero de pega según norma NTC-4109	m
5.0	TRANSPORTE	
5.1	Transporte de material de afirmado y/o granular después de 5 km (instalado y compactado según sección de diseño)	m ³ /Km
5.2	Transporte de mezcla asfáltica después de 5 km (instalado y compactado según sección de diseño)	m ³ /Km
6.0	SEÑALIZACIÓN Y DEMARCACIÓN	
6.1	Suministro y aplicación de pintura acrílica con microesferas, líneas continuas y discontinuas de 12 cm según norma INVIAS	m ²
6.2	Suministro e instalación de señales reglamentarias 90 x 90 cm	UN

Fuente: Autor

2.

5.

COSTOS DIRECTOS DE OBRA

Luego de determinar el listado de actividades que intervienen en un proyecto, se procede a analizar individualmente cada actividad, estableciendo sus componentes, la cantidad requerida para construir una unidad de la actividad de estudio y el valor en el mercado dependiendo su localización. Así mismo el A.P.U. determina la mano de obra requerida para realizar una unidad de la actividad, el tiempo empleado y la cantidad de equipos y materiales que se deben utilizar (presupuesto de construcción).

Los A.P.U.'s se deben utilizar conociendo sus limitantes y ajustando a medida que sea necesario como los rendimientos por especificaciones de cada proyecto, el porcentaje de desperdicios, los precios dependiendo de la ubicación geográfica y los ajustes de inflación, son muy valiosos debido a que de estos A.P.U.'s dependen parte del éxito del proyecto, nos sirven como un registro histórico propio que más adelante se podrá utilizar para dar un estimativo del precio de un proyecto similar, son parte de nuestra cultura y lo más importante son únicos por todos los factores anteriormente mencionados.

Tabla 4. Esquema análisis de precios unitarios

Capítulo						
Ítem						
Unidad de medida						
ÍTEM	UND	CANT	DESPERDICIO	REND	VALOR UNITARIO	VALOR PARCIAL
Materiales						
Mano de Obra						
Equipos						
Transporte						
Subcontrato						
						Valor Total

Fuente: autor

4.1 COSTO DE MATERIALES

Para el costo de los materiales se debe verificar:

- Disponibilidad de los materiales en las cantidades y fechas necesarias.
- Calidad de los mismos (especificaciones).
- Entrega (el transporte está incluido)
- Impuestos (retención de IVA, devolución para VIS).
- Costo unitario en acuerdo con cantidad, calidad y fechas.
- Forma de pago.
- Trámites y costos de importación
- Bodegaje

4.2 COSTO DE MANO DE OBRA

Los costos de mano de obra se pueden cuantificar de dos formas

4.2.1 Por jornal

Mediante esta forma se contrata al trabajador por unidad de tiempo, y se le remunerara en forma al tiempo empleado para realizar una labor, esta remuneración no va a depender de la productividad, el riesgo se inclina hacia el contratante puesto que tiene que tiene que controlar el tiempo empleado para realizar una actividad y verificar su calidad, esta producción se controlara por la capacidad del obrero, la gestión de recursos por parte del contratante y por el entorno.

Se pacta con el trabajador un salario base en función a la experiencia, pericia y al salario mínimo mensual legal vigente, el tiempo de trabajo en función a la necesidad del proyecto, y la frecuencia de pago ya sea diaria, semanal o quincenal. Tanto el dueño se acoge a la normativa labrar para la cuestión de las prestaciones.

4.2.2 Por subcontrato

Mediante esta forma se contrata por unidad producida y así mismo será su remuneración, el riesgo del trabajador está asociado hacia su productividad mientras que el riesgo del dueño se inclina hacia la verificación de la calidad del producto.

Se pacta:

- La cantidad y calidad de trabajo,
- Las condiciones de trabajo (que pone el trabajador y que pone el contratante)
- Un precio unitario
- Fechas de entrega parciales y finales
- Pagos correspondientes
- Una retención en garantía

4.2.3 Duración y productividad (rendimiento)

El rendimiento se define como la cantidad de tiempo que emplea un trabajador en ejecutar una cantidad de obra estipulada, este depende de la capacidad física, grado de especialización, además de estos factores existen otros que pueden mejorar el desempeño como lo son las instrucciones para el desarrollo de cada actividad, la disposición de los materiales y equipos, y los métodos de supervisión del personal a cargo de la actividad.

El concepto de productividad hace referencia al rendimiento y es muy importante definir la manera en que se va a medir

$$\text{Productividad} = \frac{\text{cantidad de unidades producidas}}{\text{unidad de tiempo}}$$

O también se puede medir de forma inversa

$$\text{Productividad} = \frac{\text{tiempo requerido}}{\text{Unidad producida}}$$

$$\text{Duración} = \frac{\text{cantidad de trabajo}}{\text{Productividad} * \# \text{ cuadrillas}}$$

$$\text{Duración} = \frac{\text{cantidad de trabajo} * \text{productividad}}{\# \text{ cuadrillas}}$$

Ejemplo de productividad y duración

Una cuadrilla GG instala 2.5 m² de drywall por hora.

a. Que tiempo gasta en instalar **1 m²** de Drywall

Una cuadrilla GG gasta para instalar de Drywall

b. Se tienen 3 cuadrillas GG instalando drywall en un área de **871 m²** ¿Qué duración tendrán?

$$\text{Productividad} = 0.4 \text{ hr/m}^2$$

$$\text{Productividad} = 2.5 \text{ m}^2/\text{hr}$$

$$\text{Duración} = \frac{871\text{m}^2 * 0.4 \text{ hr/m}^2}{3}$$

$$\text{Duración} = 116.1 \text{ hr}$$

$$\text{Duración} = 14.51 \text{ Jornales}$$

En los costos de mano de obra se tiene en cuenta por la clasificación de los diferentes tipos de cuadrillas dependiendo de la descripción de las actividades y tareas específicas a realizar, los valores ya están estipulados en la revista **Construdata** y adicionalmente también se presentan las herramientas básicas que contiene cada cuadrilla.

A continuación, se presentan las cuadrillas más comunes, la actividad la cual está prevista y el personal del cual está compuesto.

Tabla 5. Cuadrillas de trabajo

CUADRILLA	TIPO	CONFORMACIÓN
AA	Albañilería	Oficial y ayudante
BB	Instalaciones	Oficial y ayudante
CC	Pinturas	Oficial, estucador y ayudante
DD	Carpintería en madera	Carpintero y ayudante

CUADRILLA	TIPO	CONFORMACIÓN
EE	Cableado estructurado	Dos oficiales con formación especializada de transmisión de voz y datos
FF	Eléctricas	Oficial, ayudante y encargado de la obra con dedicación del 30%
FF 1	Eléctricas especializadas	Dos oficiales, ayudante y encargado de la obra con dedicación del 60%
GG	Drywall	Dos oficiales y un ayudante
HH	Metálicas	Oficial, ayudante y soldador
II	Topografía	Topógrafo, cadenero, y auxiliar de topografía
JJ	Red contra incendios	Jefe de obra, oficial tipo 2, oficial tipo 1 y ayudante
KK	Aseo	Dos operarios

Fuente: Construdata

4.3 COSTO DE EQUIPOS

Existen tres alternativas para cuantificar el costo por equipos

4.3.1 Alquiler

El precio de alquiler está definido por una entidad externa a la obra, se deben acomodar las necesidades a la imposición del dueño, se originan tiempos muertos de utilización que se deben pagar, es necesario preguntarse: Incluye o no los costos de operación?

4.3.2 Leasing o arrendamiento financiero

Se ha convertido en una alternativa para la compra de equipo mediante un contrato especial la compañía constructora solicita a una institución financiera que los compre y se los arriende durante un tiempo un tiempo determinado y que al final de dicho periodo se los entregue en propiedad mediante el pago de una pequeña cuota.

Este tipo de arrendamiento financiero evita que el constructor comprometa su propio capital en adquirir equipos, lo protege de la obsolescencia y le permite tener actualizado el valor a cobrar por concepto de depreciación. Es necesario incluir los costos de operación y mantenimiento.

4.3.3 Equipo propio

- **Costo de depreciación**

Depreciación lineal:

El costo de depreciación de un equipo se define como el valor inicial menos el valor de salvamento entre la vida útil, se da en medidas de pesos/hora

$$\text{Costo depreciación} = \frac{vi-vs}{vu}$$

Donde

Vi = Valor inicial: Es el valor pagado menos el valor de los accesorios de menor vida útil, p.e. neumáticos y accesorios de mayor desgaste.

Vs = Valor de salvamento: valor comercial al final de la vida útil

Vu = Vida útil: Es función del desgaste del equipo y del entorno. Tiempo de vida útil en horas

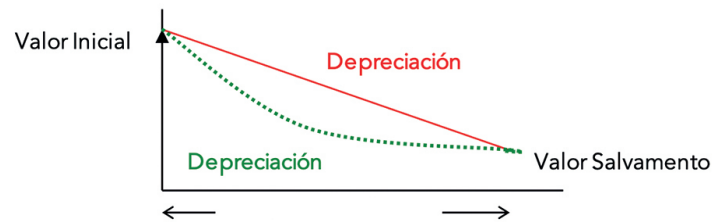
La depreciación se mide en pesos (\$) por unidad de tiempo (H)

Cuando costeamos equipos, generalmente se hace por depreciación Lineal.

Depreciación Acelerada:

- Sirve para mejorar la rentabilidad de las empresas. Es decir, genera un beneficio tributario temprano que ayuda a maximizar el Valor Presente Neto.
- Valor total de la depreciaciones igual a la depreciación lineal
- Es útil por que los costos de depreciación están exentos de impuestos
- Tasa Iniciales de depreciación mayores que las tasa de la depreciación lineal
- Tasas finales de depreciación menores que las tasa de depreciación lineal

Gráfica 7. Depreciación lineal vs depreciación acelerada



Fuente: Autor

- **Costo de propiedad**

Se miden mediante el concepto de valor medio del equipo (VME)

$$VME = \frac{(n+1) * (\text{valor depreciable})}{2}$$

Donde n es la vida útil expresada en años

Costo de oportunidad: equivalen al 15 % del valor medio del equipo por año

Costo de impuestos: equivalen al 2 % del valor medio del equipo por año

Costo de bodegaje: equivalen al 2.5 % del valor medio del equipo por año

Costo de seguros: equivalen al 3.2 % del valor medio del equipo por año

- **Costos de operación y mantenimiento**

Los costos de operación y mantenimiento se refieren al cálculo de los costos necesarios para que equipo funcione durante su vida útil entre los que se encuentran, no existe un porcentaje para cuantificar estos costos más que todo se guían por un registro histórico propio o ajeno.

Combustibles, lubricantes y energía eléctrica.

Neumáticos, partes especiales.

Reparaciones, operarios y personal auxiliar

Mantenimiento de locales y edificaciones para el equipo.

Ejemplo de depreciación, costos de propiedad, mantenimiento y operación.

El costo inicial pagado por una volqueta fue de \$ 120'000.000, el valor pagado por los neumáticos fue de \$ 3'600.000 con una vida útil de 8 años trabajando 2500 horas por año, y el valor al final de la vida útil es de \$ 10'000.000.

$$\text{Costo depreciación} = \frac{(\$120'000.000 - \$3'600.000) - \$10'000.000}{8 \text{ años} * 2500 \frac{\text{hr}}{\text{años}}}$$

$$\text{Costo depreciación} = 5320 \frac{\text{pesos}}{\text{hr}}$$

$$\text{Costo depreciación} = 127.680 \frac{\text{pesos}}{\text{día}}$$

$$\text{Costo depreciación} = 46'603.200 \frac{\text{pesos}}{\text{año}}$$

Costo de propiedad

$$\text{VME} = \frac{(8 \text{ años} + 1) * (46'603.200 \frac{\text{pesos}}{\text{año}})}{2}$$

$$\text{VME} = 209'714.000 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo de oportunidad} = 15\% * 209'714.000 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo de oportunidad} = 31'457.160 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo de impuestos} = 2\% * 209'714.000 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo de impuestos} = 4'194.288 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo de bodegaje} = 2.5\% * 209'714.000 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo de bodegaje} = 5'242.860 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo de seguros} = 3.2\% * 209'714.000 \text{ pesos}$$

$$\text{Costo de seguros} = 6'710.860 \text{ pesos}$$

4.4 INFLACIÓN

Se entiende por inflación el incremento del costo de los insumos en el tiempo

Causas

- Mucho efectivo en manos de la demanda
- Incremento en precios de proveedores
- Incremento en costos regulados
- Subida del dólar por ende incrementan costos de insumos importados

La inflación se basa en índices como lo son el índice de precio al consumidor (IPC) y el índice de precios al productor, estos índices se fundamentan en una canasta básica para el consumidor promedio. Pero al final, aunque la inflación a nivel nacional o por sectores va a ser la misma va a afectar de forma diferente a cada consumidor.

Ejemplo de inflación

Se tienen dos tipos de consumidores (A, B) los cuales consumieron los mismos insumos, pero en diferentes cantidades durante los años 2001 y 2002. Determine la inflación percibida por cada consumidor.

Tabla 6. Consumidor A

INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD
Acero	20	Ton
Cemento	5	Ton
Concreto	10	m ³
Trabajo	1000	Día

Tabla 7. Consumidor B

INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD
Acero	2	Ton
Cemento	10	Ton
Concreto	1000	
Trabajo	2500	Día

Tabla 8. Valor unitario

INSUMO	UNIDAD	2001	2002
Acero	Ton	\$ 717,000.00	\$ 722,000.00
Cemento	Ton	\$ 87,000.00	\$ 92,000.00
Concreto	m ³	\$ 250,000.00	\$ 251,000.00
Trabajo	Día	\$ 30,000.00	\$ 31,500.00

Tabla 9. Valor total con inflación para consumidor B

Consumidor A			Valor Total		
Insumo	Cantidad	UN	2001	2002	Inflación
Acero	20	Ton	\$ 14.340.000,00	\$ 14.440.000,00	0,70 %
Cemento	5	Ton	\$ 435.000,00	\$ 460.000,00	5,75 %
Concreto	10	m ³	\$ 2.500.000,00	\$ 2.510.000,00	0,40 %
Trabajo	1000	Día	\$ 30.000.000,00	\$ 31.500.000,00	5,00 %
Total			\$ 47.275.000,00	\$ 48.910.000,00	3,46 %

Tabla 10. Valor total con inflación para consumidor B

Consumidor B			Valor Total		
Insumo	Cantidad	UN	2001	2002	Inflación
Acero	2	Ton	\$ 1.434.000,00	\$ 1.444.000,00	0,70 %
Cemento	10	Ton	\$ 870.000,00	\$ 920.000,00	5,75 %
Concreto	1000	m ³	\$ 250.000.000,00	\$ 251.000.000,00	0,40 %
Trabajo	2500	Día	\$ 75.000.000,00	\$ 78.750.000,00	5,00 %
Total			\$ 327.304.000,00	\$ 332.114.000,00	1,47 %

Aunque el valor de los insumos era igual para ambos consumidores y su inflación fue la misma, la inflación percibida por el consumidor A (3.46%) fue mayor a la del consumidor B (1.47%).

4.5 DESPERDICIOS

Los desperdicios son consumos extras de materiales que se presentan en todas las actividades, muchas veces se comete el error de no tenerlos en cuenta y es ahí donde se falla en el precio unitario de la actividad y se ve aún más reflejado cuando se multiplica por la cantidad total de la actividad. (Presupuesto de construcción)

Estos desperdicios se originan en el diseño, en la administración de la obra, en las características del material, así como en la ejecución de la actividad, son poco deducibles en los planos se consideran un porcentaje de cada material teniendo en cuenta:

- Dificultades en la aplicación (morteros)
- Característica del material (mayor probabilidad de desperdicio en ladrillo, baldosa por rotura)
- Mala construcción de las formaletas
- Exceso en cantidades de material para la utilización de ensayos (cilindros de concreto)
- Supervisión y calidad de la obra
- Calidad del diseño (entre más detallado y especificado menos desperdicio)
- Traslado del material (cuando se realizan más de un cargue y descargue aumentara el porcentaje de desperdicios)

Estos porcentajes de desperdicio que se utilizaran no serán muy confiables hasta que se tenga un buen registro histórico de cada actividad además se deben revisar continuamente en la ejecución de cada actividad.

Ejemplo de A.P.U.

CAPÍTULO	Básicos
ÍTEM	Mortero
UNIDAD	m ³

Tabla 11. Análisis de precio unitario (a)

MATERIALES					
Descripción	UN	Cantidad	Desperdicio	Valor unitario	Valor total
Agua	L	220,00	10%	\$ 80,00	\$ 19.360,00
Arena	m³	1,16	10%	\$ 65.000,00	\$ 82.940,00
Cemento (argos)	kg	364,00	10%	\$ 440,00	\$ 176.176,00
Total					\$ 278.476,00

MANO DE OBRA				
Descripción	Un	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Cuadrilla AA	H.C.	1,00	\$ 18.400,0000	\$ 18.400,0000
Total				\$ 18.400,00

HERRAMIENTA Y EQUIPO				
Descripción	UN	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Mezclador de trompo	día	0,13	\$ 90.000,00	\$ 11.700,00
Herramienta menor	% M.O	5,00%	\$ 18.422,00	\$ 920,00
Total				\$ 12.621,10

COSTOS DIRECTOS	
Total	\$ 309.519,10
CAPÍTULO	Básicos
ÍTEM	Muro en bloque No 5
UNIDAD	m ²

Tabla 12. Análisis de precios unitarios (b)

MATERIALES					
Descripción	UN	Cantidad	Desperdicio	Valor unitario	Valor total
Bloque No 5	UN	12,25	10%	\$ 1.516,00	\$ 20.436,27
Mortero 1:4	m ³	0,01	10%	\$ 309.519,10	\$ 3.404,71
Grafíl 5 mm	m	2,00	10%	\$ 483,33	\$ 1.063,33
Total					\$ 24.904,32
MANO DE OBRA					
Descripción	UN	Cantidad	Valor unitario	Valor total	
Cuadrilla AA H.C.		0,5	\$ 18.422,00	\$ 9.211,00	
Total					\$ 9.211,00
HERRAMIENTA Y EQUIPO					
Descripción	Un	Cantidad	Valor unitario	Valor total	
Herramienta menor	% M.O.	5,00%	\$ 9.211,00	\$ 460,55	
Total					\$ 460,55
COSTOS DIRECTOS					
Total	\$ 34.575,87				

4.6 SALARIO REAL

El salario lo constituye tanto la remuneración ordinaria, fija o variable como todo lo que reciba el trabajador tanto en dinero como en especie como contraprestación directa del servicio están incluidas las primas, sobresueldos, horas extras, porcentaje de ventas y comisiones.

El valor real del salario está compuesto por el salario mínimo mensual legal vigente, el subsidio de transporte, los aportes parafiscales, la seguridad social, la dotación y elementos de protección personal y las prestaciones sociales.

4.6.1 Salario mínimo mensual legal vigente

Se fija para periodos de un año, con periodicidad de pago mensual, regula el valor nominal que un empleador debe pagar a sus trabajadores y se convierte en lavase para la liquidación de impuestos y tarifas a nivel nacional. El valor de SMMLV para el año 2019 es de \$828.116. El decreto 2451 del 2018 es el encargado de la reglamentación del S.M.M.L.V.

4.6.2 Subsidio de transporte

La empresa debe de pagar una suma mensual por este concepto a aquellos trabajadores que devenguen hasta dos salarios mínimos legales vigentes, fue creado con el fin de subsidiar el costo de movilización del trabajador desde la residencia hasta el lugar de trabajo, no se tiene en cuenta para el cálculo de aportes parafiscales ni de seguridad social, pero si se debe tener en cuenta al momento de liquidar las prestaciones sociales. El valor del subsidio de transporte mensual para el 2019 es de \$97.032.

La ley 15 de 1959 y el decreto 2452 2018 son los cuales reglamentan y dan especificaciones sobre el subsidio de transporte.

4.6.3 Aportes parafiscales

Son contribuciones que realizan los empleadores al SENA ICBF Y Cajas de compensación familiar con el fin de adelantar programas de naturaleza social, además se debe realizar una contribución para el FIC (Fondo de capacitación de la industria de la construcción). Según la ley 1607 los aportes parafiscales para el año 2019 serán del para el SENA, * para el ICBF, 4% para la CCF y del 2.5% para el FIC sobre la nómina mensual de salarios.

Los aportes parafiscales son reglamentados por la ley 1607 de 2012 y el decreto 2375 de 1974.

4.6.4 Prestaciones sociales

Se refiere a los pagos adicionales al salario, estos pagos contribuyen para beneficios del empleado, son de obligatoriedad por parte del empleador.

- **Cesantías**

Es un auxilio como un seguro de desempleo que debe pagar el empleador al terminar el contrato de trabajo, se liquidan en base al salario y al subsidio de transporte. Equivalen a un salario por cada año trabajado. Estas no se le pagan al empleado directamente, sino que se depositan en un fondo administrador de cesantías.

Para el sector de la construcción es especial se liquidan a razón de tres días de trabajo por mes trabajado.

Las cesantías son reglamentadas por el artículo 249 del CST-

- **Intereses sobre cesantías**

Es un pago obligatorio de un interés sobre las cesantías acumuladas en el año, equivalen al 12% del valor de las cesantías anuales y se le pagan directamente al trabajador.

Los intereses sobre cesantías son reglamentados por la ley 52 de 1975.

- **Vacaciones**

Corresponden a 15 días hábiles de descanso remunerado por cada año trabajado, para su liquidación se toma como base el salario del empleado.

En el artículo 186 del código sustantivo del trabajo se reglamenta las vacaciones del trabajador.

- **Prima de servicios**

Corresponde al pago de un salario mensual por cada año trabajado, debiéndose pagar el 50% finalizando el primer semestre y otro finalizando año.

La prima de servicios es reglamentada en el artículo 306 del CST.

4.6.5 Seguridad social

Equivalen a los aportes por parte del empleador y el empleado al sistema para garantizar la seguridad social integral, salud y los riesgos de invalidez, vejez y muerte.

La seguridad social es reglamentada por la ley 100 de 1993.

- **Pensiones**

Son aportes orientados a amparar al trabajador contra contingencias de vejez, invalidez y muerte, cotizados al sistema general de pensiones equivalentes al del salario del trabajador repartido en un pagado por el empleador y el pagado por el trabajador.

Las pensiones son reglamentadas por la ley 797 de 2003 y decreto 4982 de 2007.

- **Salud**

Son aportes orientados a amparar la salud del trabajador equivalen al del salario del empleado repartido en 8.5% aporta el empleador y un aporta el trabajador.

La salud es reglamentada por la ley 1122 de 2007 y decreto 1828 de 2013.

- **Riesgos laborales- ARL**

La afiliación al sistema de riesgos laborales es un beneficio cuyo objetivo es proteger al trabajador contra accidentes de trabajo y enfermedades profesionales. La afiliación se realiza teniendo en cuenta la clase de riesgo que implica el trabajo.

Los riesgos laborales están reglamentados mediante el decreto 1772 de 1994.

4.6.6 Dotación

Se debe suministrar a aquellos trabajadores que devengan hasta 2 SMMLV se entregan cada cuatro meses, con un total de tres veces por año.

4.6.7 Elementos de protección personal (EPP)

Es cualquier tipo de equipo o dispositivo destinado para la protección al trabajador, son de carácter obligatorio y son entregados por el empleador sin importar en monto de su salario.

3.

6.

COSTOS INDIRECTOS DE OBRA

Los costos indirectos, también llamados costos repartibles son aquellos que no constituyen obra en sí mismos, es decir, que no generan realidades físicas; pero son indispensables para implementar dicha obra dentro de un medio ambiente urbano o profesional.

Se deben tener en cuenta las exigencias de la ciudad dónde se desarrollará la obra, específicamente en cuanto a impuestos, además de la necesidad de protección de la sociedad en lo referente a seguros y garantía, lo cual requiere mano de obra calificada representada en costos de honorarios.

Los costos indirectos se calculan con base en tarifas establecidas por organismos gubernamentales y gremiales, así como por empresas de servicios. Estos costos se incorporan dentro de un presupuesto cuya denominación es administración (impuestos, servicios y honorarios), imprevistos y Utilidad (A.I.U.).

En el presupuesto de la obra se incluyen únicamente los impuestos que se originan de la obra como tal. Entre estos encontramos la licencia de construcción, ocupación de vías y otros similares. Los nombres de los costos varían de acuerdo con la ciudad dónde se ubique la obra.

La base de liquidación para este tipo de impuestos es el costo directo de construcción. Algunas administraciones municipales obtienen el costo directo a partir del presupuesto real y otras lo obtienen del presupuesto fiscal calculado con base en costos teóricos por metro cuadrado que ellas mismas establecen por decreto.

Para obtener la licencia de construcción no basta con pagar los impuestos correspondientes, sino que además es necesario acudir a una curaduría urbana para que esta conceptúe si

el proyecto cumple con las disposiciones urbanísticas locales y en caso necesario evalúa si cuenta con el reglamento de propiedad horizontal.

Las diligencias y actuaciones de las curadurías urbanas tienen un costo regulado por el Ministerio de Desarrollo en todo el país.

6.1. GASTOS GENERALES

Es seguramente el capítulo de mayor diversidad, debido a que contiene variadas actividades y conceptos:

- a. Obras Provisionales
 - i. Campamentos y casinos
 - ii. Cerramientos
 - iii. Redes de Servicios (Tuberías, cableados, postes)
 - iv. Caminos y Accesos
- b. Herramientas menores de propiedad de la obra
 - i. Máquinas, andamios, equipos y automotores
 - ii. Propios, incluyendo su mantenimiento
 - iii. Alquilados temporalmente
- c. Instalaciones provisionales de servicios públicos
 - i. Acueducto, alcantarillado
 - ii. Energía
 - iii. Teléfonos
 - iv. Gas
- d. Consumo de servicios durante obra
 - i. Acueducto
 - ii. Energía, gas u otras fuentes
 - iii. Teléfonos corrientes, celulares y radioteléfonos (comunicaciones)
- e. Vallas de obra
 - i. Publicidad de la obra y de sus contratistas
 - ii. Exigencia de la entidad financiera y para los sistemas de seguridad
- f. Equipamiento del campamento y de la oficina de la obra
 - i. Máquinas, computadores, equipo de escritorio
 - ii. Muebles, estanterías, mesas de trabajo, sillas

- iii. Alarmas, sistemas de seguridad
- g. Papelería de consumo de obra
 - i. Papel blanco y membretado, papelería de control, contratos
 - ii. Formularios, talonarios, recibos, Kardex, etc.
 - iii. Copias heliográficas, fotocopias
- h. Pólizas de Seguros
 - i. Colectivas a favor del personal de la obra
 - ii. Por todo riesgo de obra y a favor de terceros
 - iii. Para la maquinaria, automotores y equipos
 - iv. Contra robos, atracos, incendio, sabotaje, terremoto, manejo de anticipos y cumplimiento de contratos, de estabilidad o buen funcionamiento, de prestaciones sociales, vida, etc.
- i. Transporte de personal, taxis y otros transportes locales
- j. Cafetería y elementos de consumo
- k. Caja menor de la obra
- l. Aseo de la obra
- m. Materiales de aseo durante la obra
- n. Contrato de aseo final de obra
- o. Retiro de sobrantes
- p. Retiro de obras e instalaciones provisionales
- q. Prima cierre de cubierta y refrigerios varios
- r. Gastos de representación, bonificaciones y regalos
- s. Posibles peritazgos, avalúos y visitas a obra
- t. Arriendo de predios vecinos (oficinas, lotes, depósitos)
- u. Viáticos, viajes y transportes
- v. Gastos reembolsables, portes de correos, timbres, etc.
- w. Dotación especial o normal del personal
- x. Cilindros, pruebas, ensayos de laboratorio
- y. Movimiento interno de materiales (horizontal y vertical)
- z. Materiales de consumo permanente (madera, alambre, cemento, etc.)
- aa. Gastos de cerramientos y protecciones al personal de obra y a extraños
- ab. Sistemas de protección y seguridad de la edificación (seguridad industrial)
- ac. Otros gastos generales

6.2. HONORARIOS

6.2.1. Diseños Eléctricos

Se basan en un escalafón de ocho (8) lugares propuestos en el *manual de referencia de tarifas para la contratación de servicios profesionales de ingeniería en Colombia*, siendo el escalafón 1 el de mayor remuneración. Para pertenecer a un escalafón, el profesional además de estar matriculado con el *Consejo Nacional de Ingenierías Eléctrica, Mecánica y Profesiones Afines* (CNP).

Tabla 13. Honorarios para diseños eléctricos

ESCALAFÓN	REQUISITOS	S.M.M.L.V
1	Calificado para realizar funciones de director o especialista de proyectos. Experiencia mínima de 20 años y demostrando 15 años de experiencia específica.	21
2	Calificado para realizar funciones de director o especialista de proyectos. Experiencia mínima de 15 años y demostrando 10 años de experiencia específica.	16
3	Experiencia técnica y administrativa para desempeño como director especialista de proyectos o residente de proyectos. Experiencia mínima de 8 años y demostrando 5 años de experiencia específica.	13
4	Experiencia técnica y administrativa para desempeño como director especialista de proyectos o residente de proyectos. Experiencia mínima de 6 años y demostrando 4 años de experiencia específica.	11
5	Experiencia mínima de 5 años y demostrando 3 años de experiencia específica.	9
6	Experiencia mínima de 3 años y demostrando 1 años de experiencia específica.	7
7	Experiencia mínima de 2 años y demostrando 1 años de experiencia específica.	5
8	En entrenamiento, sin experiencia específica.	4

Fuente: Manual de referencia de tarifas para la contratación de servicios profesionales de ingeniería en Colombia.

ACIEM. 2015.

6.2.2. Diseños hidráulicos y sanitarios

Tabla 14. Honorarios para diseños hidráulicos y sanitarios

TIPO DE EDIFICACIÓN	C1
Residencial	0.50
comercio y oficinas	0.50
Institucional (hospitales y colegios)	0.75
industrial	0.50

Fuente: Construdata

La ecuación utilizada para el cálculo de honorarios es

$$CT = C1 * SMDLV * (\log_{10} A)^{5.7}$$

Donde

CT = Costo total del diseño

C1 = constante en función del tipo de edificación

SMDLV = Salario mínimo diario legal vigente

A = área total del proyecto expresada en m²

6.2.3. Diseño red contra incendios

La ecuación utilizada para el cálculo de honorarios es

$$CT = 0.75 * SMDLV * (K * (A - A_1) + (A_1 * K_1))$$

DONDE

CT = Costo total del diseño

SMDLV = Salario mínimo diario legal vigente

A = área total del proyecto expresada en m²

A₁ = área tope superior de la escala inmediatamente anterior a la escala del área en cuestión

K₁ = Porcentaje correspondiente al área A₁

K = Porcentaje correspondiente al área en cuestión

Tabla 15. Honorarios de diseño de redes contra incendio

ÁREA TOTAL CONSTRUIDA		VALOR DE K (%)
DESDE	HASTA	
0	200	100
201	300	80
301	500	55
501	7000	50
701	900	45
901	1000	40
1001	5000	30
5001	15000	25
15001	35000	15
35001	50000	10
50001	Adelante	8

Fuente: Construdata

6.2.4. Diseño estructurales

El valor de los honorarios del diseño estructural corresponde a un porcentaje del valor de la estructura, así mismo también se ve afectado por el grado de complejidad y el grado de repetitividad (Asociación colombiana de ingeniería sísmica)

Tabla 16. Factores para honorarios diseños estructurales

GRADO DE REPETITIVIDAD (GR)	
Estructura	Factor
Primera estructura	1
Segunda Estructura	0.5
Tercera estructura	0.3
Cada una de las siguientes	0.1

Fuente: Asociación Colombiana de ingeniería sísmica

$$\text{Honorarios} = (5.2\% * Ce) * Gc Gr$$

Donde

Ce = Costo de la estructura

Gc = grado de complejidad

Gr = Grado de repetividad

6.2.5. Diseño arquitectónico

Los honorarios básicos son calculados de acuerdo al área construida y al costo base, según el presupuesto de la obra. Ver *tabla 13*.

Tabla 17. Honorarios para diseños arquitectónicos

CONDICIÓN	ÁREA CONSTRUIDA (m ²)	% CBT
Primeros	1000 m ²	7,0 %
Siguientes	4000 m ²	5,0 %
Siguientes	5000 m ²	4,0 %
En adelante	-----	3,0 %

6.2.5.1. Gerencia de proyectos

Un gerente como parte de ganancia y de honorarios tiende a ganar un del costo final o ventas reales del proyecto, el cual se dividirá en el número de meses que estará en ejecución la obra y ese será el pago correspondiente al mes. Por otra parte, si por alguna causa externa se ve interrumpida el proceso de ejecución de la obra, ajenas a la gerencia, el gerente tendrá como sobre pago de un 10% más sobre los costos gerenciales ya pactados.

6.2.5.2. Interventoría de construcción

Para las categorías de Proyectos de construcciones simples con instalaciones mínimas, Proyectos de construcciones sencillas, Proyectos de construcciones complejas, Proyectos de construcciones que se caracterizan por su especial complejidad, Proyectos de construcción en serie y Proyectos de Edificios Mixtos (categoría A, B, C, D, F, G), el CBT-reales será de 2.5%.

En las categorías Proyectos de residencias o viviendas unifamiliares, bifamiliares o trifamiliares, Proyectos de restauración y Proyectos de reparaciones, reformas y ampliaciones (categoría E, H, I), el CBT-real será del 4.0%.

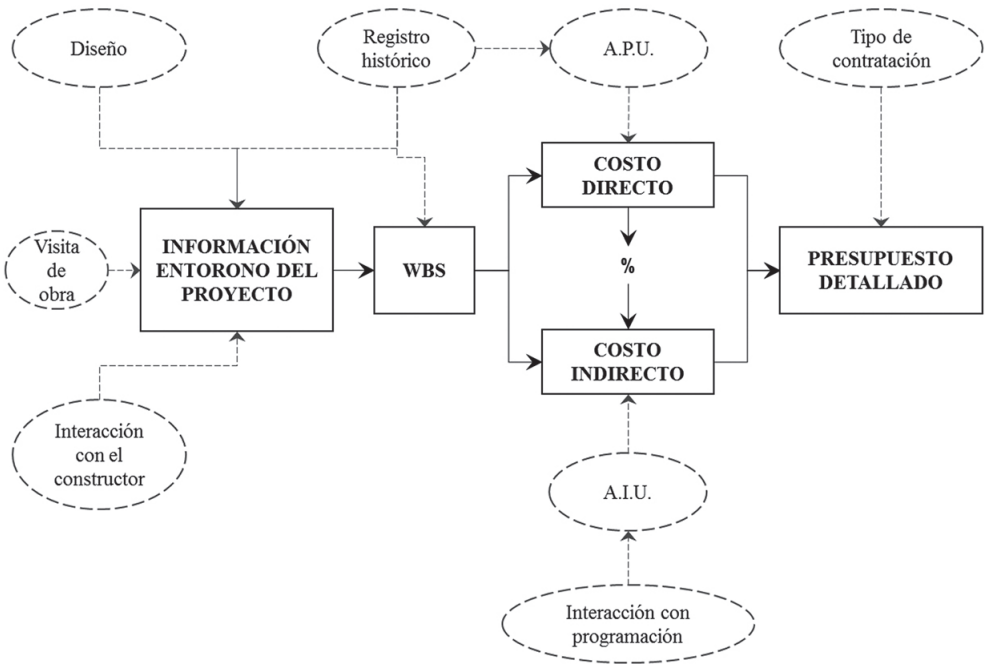
6.3. ESTUDIOS

Estudio de suelos: Debe ser realizado por un ingeniero geotécnico soportado mediante un informe el estudio de suelos del proyecto a edificar, los precios varían según la unidad de construcción.

Tabla 18. Honorarios estudios geotécnicos

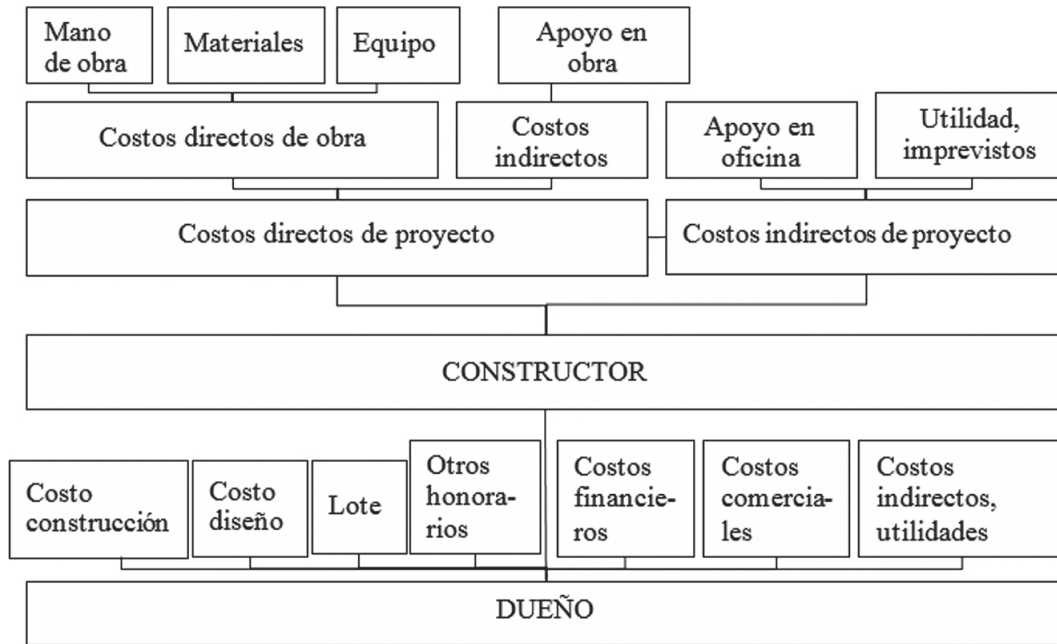
CATEGORÍA	VALOR	CONTIENE
Baja	\$ 1'500.000	--
Media		Informe ensayos incluido
Alta	\$ 130.000	Valor por metro lineal
Especial		

Ilustración 6. Proceso de desarrollo de un proyecto



Fuente: Autor

Ilustración 7. Mapa de costos de un proyecto



Fuente: Autor

Método creado por: Lawrence Delos Miles o Larry Miles

Corría el año de 1938, cuando Larry Miles a sus 34 años de edad y siendo un exitoso ingeniero dentro de General Electric, fue a dónde su jefe y le preguntó ¿qué a nadie le importa cuánto cuestan las cosas? Esta pregunta provocó un cambio de responsabilidades laborales de Larry, una serie de entrevistas y reuniones. A partir de ese entonces, lo movieron al área de compras, con la tarea de demostrar que la reducción de costos, la innovación y la calidad son compatibles.

El contexto de la época se enmarca en la segunda guerra mundial, que provocaba una enorme escasez de materia prima, no había hierro, cobre, estaño, níquel, acero, bronce, resistores, papel, etc. Y Larry aprovechó esta situación, ya que su trabajo consistía en encontrar materias primas sustitutas que cumplieran la misma función y normalmente el descubría que lo hacían con una mejor calidad y con un mejor costo. En el año en que Larry comenzó a hacer estos esfuerzos, ahorró la suma de 1.25 millones de dólares, esto le valió nuevo puesto dentro de G.E. convirtiéndose en jefe de compras de G.E. en Maryland y así se ganó la oportunidad de profundizar en el desarrollo de la elección de materias primas basada en el análisis de funciones. Larry continuó trabajando en su idea, se creó una nueva área de G.E. enfocada en la reducción de costos a cargo de Larry y luego Larry se ganó el honor de entrenar a 1000 ingenieros por año en esta metodología dentro de G.E. que desde entonces conocemos como análisis de valor. Esta metodología generó ahorros directos por más de 10 millones de dólares anuales entre 1948 y 1952 y a Larry le valió el premio Charles A. Coffin "En reconocimiento por sus sobresalientes logros a través del establecimiento, organización y desarrollo de un programa de Análisis de Valor que ha resultado en sustanciales reducciones de costo"

Al ver el enorme potencial de esta metodología, G.E. la empujó hacia sus clientes para que hicieran mejores productos y se concretaran más ventas y luego hacia sus proveedores para que logaran una mejor calidad y competitividad en el mercado.

La reputación del análisis de valor era tal que pronto llegó a oídos del gobierno de estados unidos de américa. El primer organismo de gobierno que implementó de manera formal el análisis de valor fue el departamento de buques de la marina de estados unidos; sin embargo, la marina tenía un pequeño inconveniente ya que tenían dinero para entrenar ingenieros, pero no había presupuesto para entrenar analistas, así desde 1954 y por un incidente, conocemos como ingeniería del valor a la metodología desarrollada por Larry.

A pesar de los grandes beneficios de esta metodología, aún era bastante desconocida en sí y en el mundo, por esta razón, desde 1959 se creó la sociedad americana de ingenieros del valor o SAVE. El uso de la Ingeniería del valor crecía rápidamente dentro del gobierno de los estados unidos, así, en 1961 gracias al nombramiento de Robert McNamara como secretario de defensa diversas agencias de la secretaria de defensa comenzaron a usarla. También se expandió rápidamente en todo el mundo siendo uno de los capítulos más destacables del de Japón que en 1965 creó la sociedad japonesa de Ingeniería del Valor SJVE. El pensamiento funcional y la aplicación sistemática del mismo, fue uno de los factores que más ayudó a Japón a salir de la crisis en la que se vio después de la segunda guerra mundial. "La ingeniería del valor ha contribuido considerablemente en el crecimiento de la competitividad global de las empresas japonesas. Incluso durante las grandes dificultades de la crisis del petróleo de los años 70, la recesión del yen sobrevaluado en los 80, y la explosión de la burbuja económica de los 90, las empresas que aplican ingeniería de valor constantemente han sobrevivido esas crisis y logrado mayor crecimiento que las demás". El agradecimiento de Japón fue tal que en 1985 Larry fue honrado con la medalla imperial máximo reconocimiento entregado por el emperador de Japón por su destacada contribución a la industria y economía japonesa a través de los métodos de ingeniería y análisis de valor, ese mismo año en agosto Larry murió después de una larga lucha contra la Leucemia.

La Ingeniería de Valor es una técnica para lograr mejoras en la productividad, además de que brinda los medios para el control de los costos durante el ciclo de vida del producto/servicio, sin sacrificar la calidad o confiabilidad del mismo. (Elías, S. 1998).

La Ingeniería de Valor busca obtener un balance funcional entre los costos, calidad y la funcionalidad del producto, busca mejorar la administración de las capacidades del personal y promover cambios continuos mediante la identificación y remoción de costos innecesarios.

Es vista como un proceso de evaluación del valor de los materiales o métodos utilizados contra su costo, con el objetivo de satisfacer algunas funciones predeterminadas. El cociente que resulta entre el valor y el costo es conocido como Índice de Valor. De tal manera que el objetivo de la IV es maximizar el índice de valor para una función dada (Jergeas George, 1997).

El valor puede ser definido como aquel que se provee a una función mediante la satisfacción de requerimientos predefinidos al mínimo costo. Estos requerimientos pueden ser tanto cuantitativos como cualitativos o una combinación de ambos.

Para fines de la industria de la construcción se tiene la siguiente definición “La Ingeniería de Valor, es básicamente la Ciencia que compara costos de diferentes alternativas constructivas, es un proceso organizado de mejoramiento del valor y calidad, busca identificar oportunidades para eliminar costos innecesarios, mientras se asegura de alcanzar o exceder requerimientos de calidad, seguridad y desempeño.” (CMD GROUP).

“Es un esfuerzo sistemático para mejorar el valor y optimizar el costo del ciclo de vida de una instalación, construcciones o complejo”

Valor = Función/Costo (a menos costos, mayor valor)

Valor = Función*Calidad (a mayor calidad, mayor valor)

Se reconoce que para el cliente el valor se incrementa si el costo baja, la calidad se mantiene o mejora.

El objetivo de la ingeniería de valor será, incrementar el valor del producto obtenido con un proyecto, reduciendo los costos con base en el reemplazo de componentes por componentes menos costosas, sin sacrificio de calidad.

7.1. HERRAMIENTAS CONCEPTUALES

- Ley de Pareto
- Análisis de función
- Tormenta de ideas
- Metodologías de estimación de costos en función al costo y la calidad
- Metodologías de evaluación de alternativas en función al costo y a la facilidad de instalación

7.2. PROCEDIMIENTO PARA LA INGENIERÍA DEL VALOR

Conformación del equipo: El equipo de trabajo debe tener representantes del dueño, de los diseñadores, de los estimadores o presupuestadores, de los constructores y un facilitador.

Orientación: Se debe tener a mano la información del proyecto; diseños y costos.

7.2.1. Fases para la ingeniería del valor

- **Fase Creativa:**
 - » **Análisis de Pareto:** La ley de Pareto, también conocida como la regla del 80/20, establece que, de forma general y para un amplio número de fenómenos, aproximadamente el 80% de las consecuencias proviene del 20% de las causas o, el 80% de los costos pueden venir del 20% de los elementos. En el mundo empresarial, la ley de Pareto suele cumplirse, por ejemplo, en los campos de ventas y gastos.
 - Detección de componentes de costo de mayor impacto.
 - » **Análisis de función:** Es necesario detectar la función que cumplen las componentes de mayor impacto detectadas durante el análisis de Pareto.
 - Aporte a la calidad de las componentes detectadas.
 - » **Tormenta de ideas:** Durante la tormenta de ideas se plantean alternativas de sustitución que cumplan las funciones detectadas en el análisis del punto anterior.
 - Generación de alternativas de sustitución.
 - Tiene las siguientes características:
 - ✓ No se piensa en costo sino en funcionalidad
 - ✓ No se eliminan alternativas
 - ✓ Sólo se anotan propuestas

- **Fase Analítica:**

- » Con base en el criterio del equipo de ingeniería del valor se evalúan las alternativas de sustitución propuestas, descartando aquellas que no se consideran atractivas, manteniendo aquellas de mayor potencial.

- **Fase Investigativa:**

- » Las alternativas de mayor potencial son investigadas en mayor detalle llevando al diseño cada una de ellas, realizando estimativos de costo y análisis de función, evaluando las diferentes alternativas y seleccionando las mejores.

Finalmente se realizan las recomendaciones de sustitución, llevándolas a la práctica y se monitorea el desempeño del proyecto en el tiempo, aprendiendo lecciones y generando registro histórico al respecto.

8.

CONTROL DE PROYECTOS

El control se fundamenta en un bien plan de trabajo que garantice que el proyecto se realiza en el plazo previsto, dentro del presupuesto y con la calidad requerida.

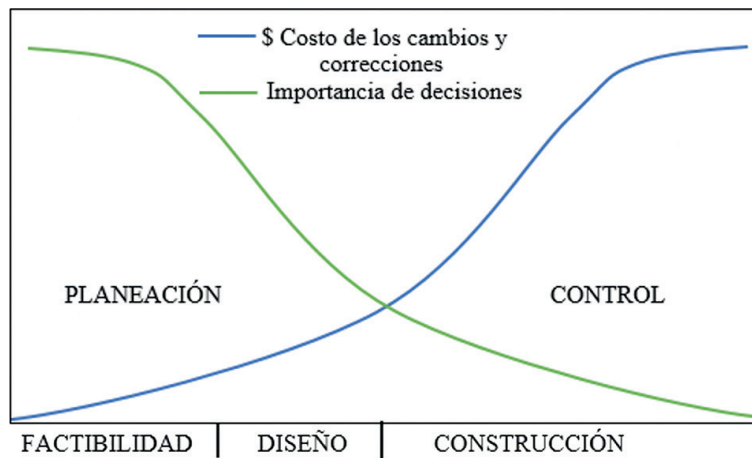
8.1. OBJETIVO

Debe hacer cumplir todo lo planeado (diseñado y presupuestado) en las etapas de factibilidad y diseño. Lo que se busca es la maximización de las probabilidades de éxito en el resultado final del proyecto; controlando el desarrollo de las actividades a lo largo de cada una de las etapas que componen el mismo y teniendo en cuenta que entre más temprano se ejerza control sobre una actividad, menor error va a haber y por lo tanto los riesgos se verán reducidos.

Para determinarlo se debe de desarrollar dentro de tres parámetros, los cuales se enmarcan dentro del plazo previsto en el presupuesto y con la calidad requerida. Aunque el control se ejerce en el proceso de construcción, se aclara que, si bien la modelación de un óptimo diseño y presupuesto reducen la incertidumbre, esto no garantiza el éxito en el resultado final del proyecto. Además, se debe de tener en cuenta que ejercer control depende de muchos factores por lo que es indispensable conocer bien el proyecto.

Si observamos la *gráfica 8* encontramos que antes de iniciar el proceso de construcción se realiza la planeación del proyecto y a partir del inicio de la construcción se debe ejercer control; en este punto es válido aclarar, que la ingeniería del valor mencionada en el capítulo anterior, hace parte de la planeación del proyecto, y la implementación y seguimiento derivadas de la fase investigativa se realizan durante el control.

Gráfica 8. Importancia de las decisiones y esfuerzo para hacer cambios y correcciones



Fuente: Autor

8.1. FILOSOFÍA DE CONTROL

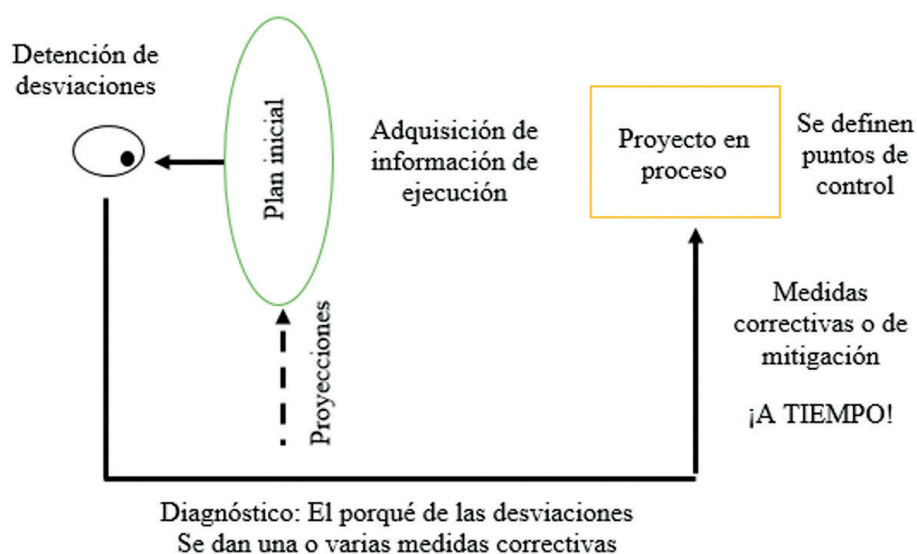
El buen ejercicio del control en un proyecto de construcción depende de un plan, este debe estar fundamentado en la filosofía del control que en síntesis está conformada por distintas características.

- **Efectivo:** Es decir, debe existir una necesidad plenamente identificada, debe suplir una necesidad.
- **Eficiente:** Hace referencia a la optimización y buen uso de los recursos y del manejo del tiempo con los que se cuentan, para suplir la necesidad planteada.
- **Ambicioso:** Es un fundamento importante debido a que requiere generar motivación, que la comodidad sea parte de la realización y desarrollo del proyecto, y no la presión e imposición de ideas.
- **Sistemático:** Es decir, contiene partes interconectadas que conforman un todo, tiene una entrada, unos procedimientos y una salida, además el flujo oportuno de la información es clave debido a que el control se debe realizar en un tiempo y espacio determinado, de lo contrario no será efectivo ni eficiente.
- **Flujo oportuno de información:** La información requerida para ejercer el control debe ser oportuna, debe detectarse y procesarse a tiempo o sea antes que se genere la pérdida o la desviación en la ejecución del proyecto.

El control debe ser una inversión, esto significa que, al realizar control sobre dicha actividad va a traducirse en un ahorro superior a lo que costaría no ejercerlo, de lo contrario el control no estaría siendo efectivo, sino que estaría desperdiciando recursos valiosos para el proyecto.

El control está conformado por un ciclo que no pierde de vista el plan inicial y lo tiene siempre presente, ya que, si sucediera esto, el proyecto perdería su propósito. Este ciclo de control ayuda a detectar los problemas o desviaciones del plan inicial e identifica los puntos que requieren mayor control, todo esto ayuda a tomar medidas de corrección proyectando los resultados en lo planeado inicialmente, la *ilustración 8* muestra gráficamente el ejercicio del ciclo de control.

Ilustración 8. Control de proyectos



Fuente: Autor

8.2. ESTRATEGIAS PARA EL CONTROL

- **Ideal:** es decir el control se hace en tiempo real, continuo, constante a lo largo del tiempo.
- **Permanente:** para lograrlo es necesario contar con un equipo comprometido, idóneo y que haga presencia y vigilancia permanente del proyecto.

- **Control previo:** Se realiza antes de incurrir en gastos. Al realizar las cotizaciones necesarias con proveedores y contratistas, se debe tener la información del presupuesto del proyecto y se debe comparar con la información de los cotizantes para así detectar desviaciones tempranas.

También, el proyecto debe estar conformado por un equipo interdisciplinario, comprometido, idóneo y ético, que cumpla con las condiciones necesarias y óptimas, requeridas para desempeñar los cargos y las funciones delegadas, precisas para el óptimo desarrollo.

Asimismo, esta actividad no es algo que se puede realizar a la distancia, no se puede ejercer control si no hay presencia, es vital la vigilancia del proyecto.

Ejemplo

Tabla 19. Control previo Actividad Mampostería

PRESUPUESTO				
Capítulo mampostería	Unidad	Valor unitario	Cantidad	Precio total
Ladrillo	Bloque	\$ 550,00	17180	\$ 9.449.000,00
Subcontrato de mano de obra	m ²	\$ 11.800,00	1011	\$ 11.929.800,00
Total				\$ 21.378.800,00

Tabla 20. Cotizaciones

COTIZACIONES		1	2	3
Ladrillo	Bloque	\$ 575,00	\$ 565,00	\$ 560,00
Mano de obra mampostería	m ²	\$ 11.500,00	\$ 11.900,00	\$ 12.300,00
	Precio Total	\$ 21.505.000,00	\$ 21.737.600,00	\$ 22.056.100,00
	Desviaciones	-0,59%	-1,68%	-3,17%

8.3. CONTABILIDAD

Cuando hablamos de contabilidad podemos referirnos a dos tipos: Contabilidad financiera externa, obligatoria para todos porque de esta contabilidad se deducen los impuestos, p.e. Impuesto de Renta y contabilidad de costos interna, obligatoria para las entidades públicas y opcional para las entidades privadas, está relacionada con nuestro control de costos, p.e.

Balance contable (Activo = pasivo + patrimonio). En la contabilidad de caja registramos un movimiento contable solamente cuando hay intercambio de dinero es obsoleta hoy en día se trabaja contabilidad causada, en la que se generan movimientos cada vez que se produce una obligación.

Las cuentas de activo las ordenamos de mayor liquidez a menor liquidez y los pasivos los ordenamos de corto a largo plazo.

8.4. CONTROL PERIÓDICO

Se debe realizar en función a la duración del proyecto y la criticidad del mismo, se hace para aquellas actividades que requieren un procesamiento de información para que pueda ser detectada.

8.4.1. ELEMENTOS DE SEGUIMIENTO

- **Avance:** Se puede medir en unidades de ejecución de la actividad (m^3 , m, m^2). De igual forma, el avance se puede medir en días de trabajo, estas dos formas de medición son de carácter necesario, pero no completo. No obstante, se debe tener en cuenta el porcentaje de avance, que en síntesis es el cálculo del porcentaje entre las actividades realizadas sobre las actividades totales.
- **Rendimiento:** Este debe ser mayor o igual al estipulado en el análisis de precios unitarios y por el contrario los desperdicios deben ser menores o iguales a los estipulados en estos presupuestos.
- **Otros elementos:** Se debe contar con información del entorno y clima, es decir estar preparado a los acontecimientos climáticos y externos que puedan afectar las actividades previstas por ejecutar. Además de tener un registro de eventos que puedan afectar la producción, como la disponibilidad de los recursos (materiales, maquinaria de obra, equipo, etc.), situaciones de orden público y cierres provisionales de vías.

Ilustración 9. Elementos de seguimiento



Fuente: Autor

8.5. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL

El uso de herramientas de control debe seguir y ajustarse al presupuesto y planeación de tiempo establecidos. Para esto, las herramientas de control se valen de:

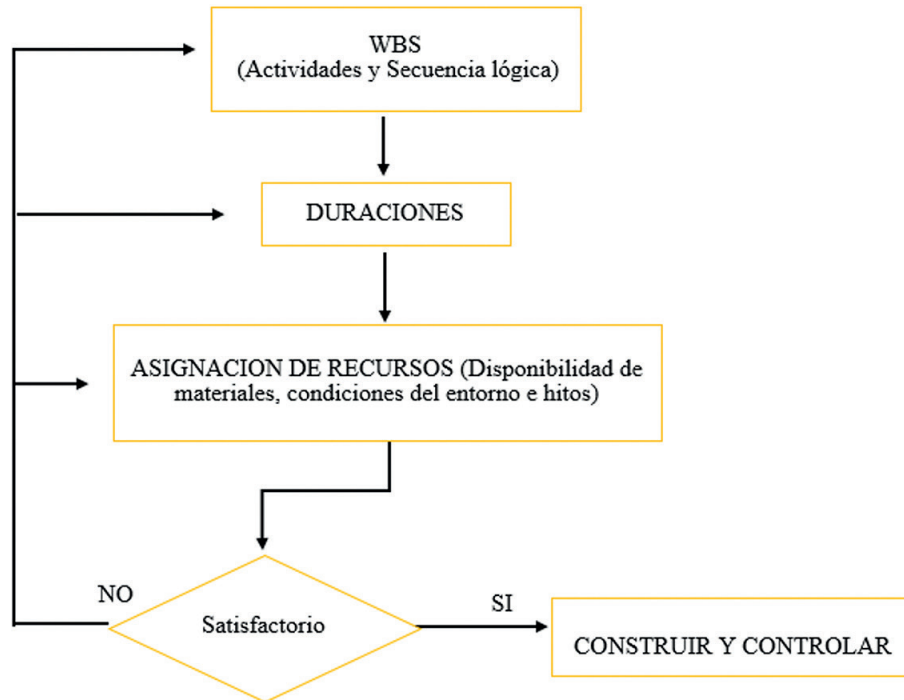
- Diagrama de líneas
- Diagrama de barras
- CPM (modelo determinístico)
- PERT (Modelo probabilístico)

8.6. PROGRAMA DE ACTIVIDADES

Debe estar compuesto por diferentes actividades, debe tener una secuencia lógica, cumplir con duraciones establecidas (inicio-fin) y contar con asignación de recursos para cada una de las actividades.

Las funciones de un programa de actividades son básicamente las de controlar, planear, comunicar, manejo de recursos, trato financiero y registro histórico, además de ser un proceso iterativo, descrito en la *ilustración 10*.

Ilustración 10. Proceso Iterativo



Fuente: Autor

- **Nota:** Un hito es un momento del proyecto que no se olvidan, son muy importantes porque marcan el proyecto, hay hitos de inicio, fin e intermedio estos últimos puede haber cuántas veces el programador los desee como por ejemplo un comité de obra. Son representados por la figura de un rombo.

8.6.1. Secuenciamiento

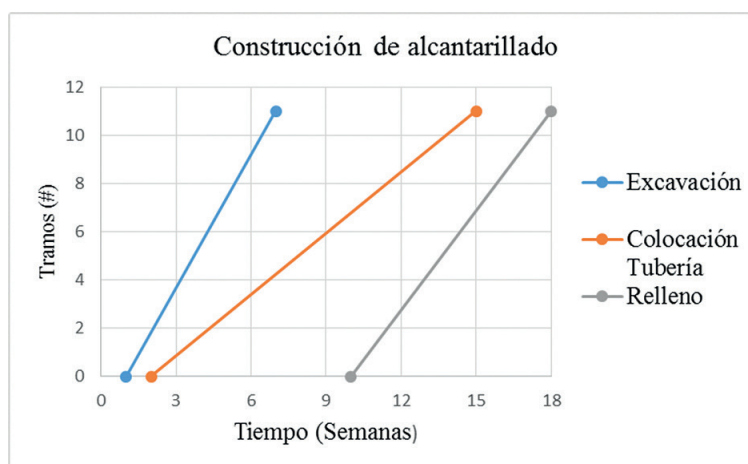
Este, se encarga de generar un orden lógico entre las actividades y se establece con base en la disciplina específica a la cual pertenecen las actividades involucradas. Estas actividades pueden ser dominantes, dominadas o predecesoras.

8.6.2. Duraciones

Se determinan a través de la experiencia, criterio y conocimiento de proyectos similares realizados en el pasado, teniendo en cuenta el tipo de actividad ya sea dominante o dominada

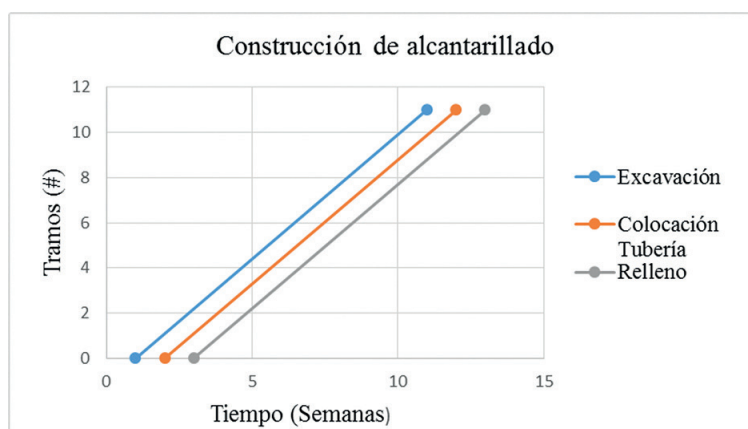
Para hacer una duración a detalle, se deben asignar recursos para lograr las duraciones preestablecidas o modificarlas en caso de ser necesario. Para lograr esto se debe hacer una verificación de la disponibilidad de recursos, verificación de cumplimiento de fechas de inicio y finalización de actividades predecesoras y de otros hitos intermedios.

Gráfica 9. Secuenciamiento de actividades (a)



Fuente: Autor

Gráfica 10. Secuenciamiento de actividades (b)



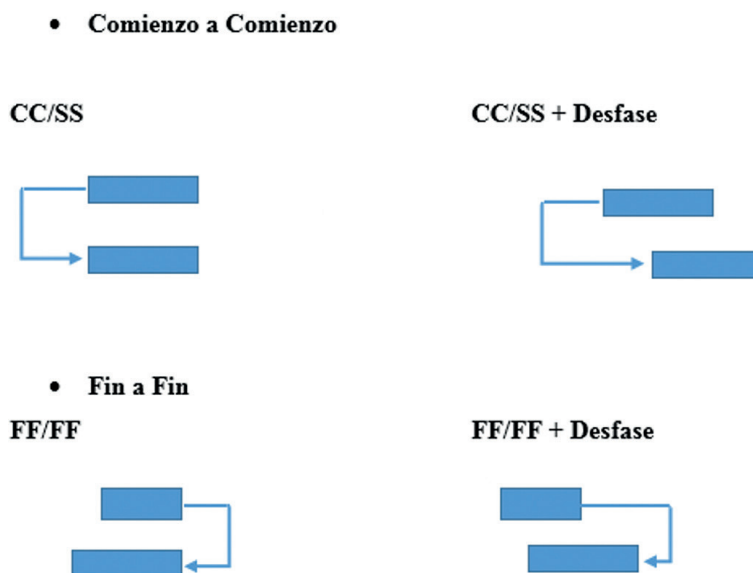
Fuente: Autor

Como se observa, las *gráficas 9 y 10* representan un mismo proyecto: la construcción de un alcantarillado; sin embargo, su programación es distinta debido al registro histórico con el que cuente el programador de la actividad. En el primer caso, en la *gráfica 9* cada actividad (excavación, colocación de tubería y relleno) tiene diferentes rendimientos, lo que significa

que estos pueden mejorar sin verse afectadas las otras actividades. Para la *gráfica 10* el rendimiento de las tres actividades es el mismo pero desarrollado en tiempos diferentes, lo que significa que, si se mejora el rendimiento de la actividad de relleno, necesariamente se deben mejorar los rendimientos de las demás actividades. De no ser así, las actividades se cruzarán entre sí. En síntesis, la determinación del rendimiento, tiempos de inicio y tiempos finalización como se menciona anteriormente, dependen del registro histórico del programador del proyecto.

8.7. RELACIONES DE PRECEDENCIA

Ilustración 11. Relaciones de precedencia (a)



Fuente: Autor

Ilustración 12. Relaciones de precedencia (b)

CF/SF



CF/SF + Desfase

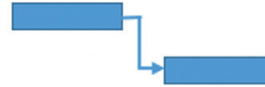


- **Fin a comienzo**

FC/FS



FC/FS + Desfase



Fuente: Autor

- **Nota:** La relación entre dos actividades puede tener varias relaciones de precedencia, pero la asignación indicada depende del registro histórico del programador y la secuencia lógica de las actividades.

8.8. HOLGURA

Se entiende por holgura la capacidad de una actividad para moverse en el tiempo sin que retrase la duración total del proyecto. Se puede contar con dos tipos de holguras.

- **Holgura Libre o Propia:** Capacidad de una actividad para moverse libre en el tiempo sin depender de otra.
- **Holgura Compartida:** Capacidad de una actividad de moverse en el tiempo, pero que a su vez depende de otras actividades.

$$\text{Holgura total} = \text{Holgura libre} + \text{Holgura compartida}$$

Holgura libre (act.i) = $\text{Máx}(0, \text{min}(\text{Ti. Tempr. Inic. De sucesores de } i) - \text{Máx}(\text{Ti. Tard. Fin. De predecesores de } i) + \text{dur}(i))$

- **Actividades Críticas:** Son las que tienen holgura igual a cero (0), y la unión de las actividades críticas se define como RUTA CRÍTICA.

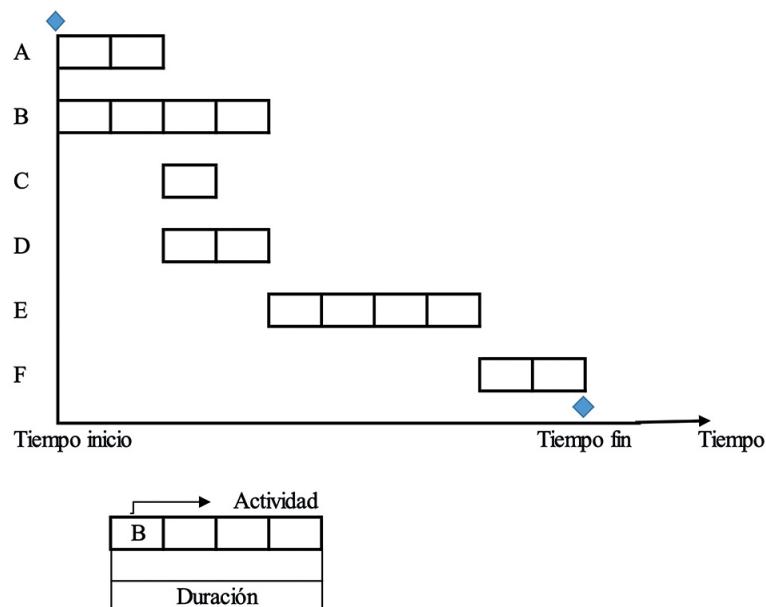
8.9. DIAGRAMA DE BARRAS

- **Paso 1:** Graficar las actividades con sus respectivas duraciones teniendo en cuenta sus actividades predecesoras.

Tabla 21. Datos iniciales Diagrama de barras

ACTIVIDAD	DURACIÓN	PREDECESORA	RECURSOS
A	2	-	3
B	4	-	4
C	1	A	1
D	2	A	3
E	4	B, C	2
F	2	D, E	2

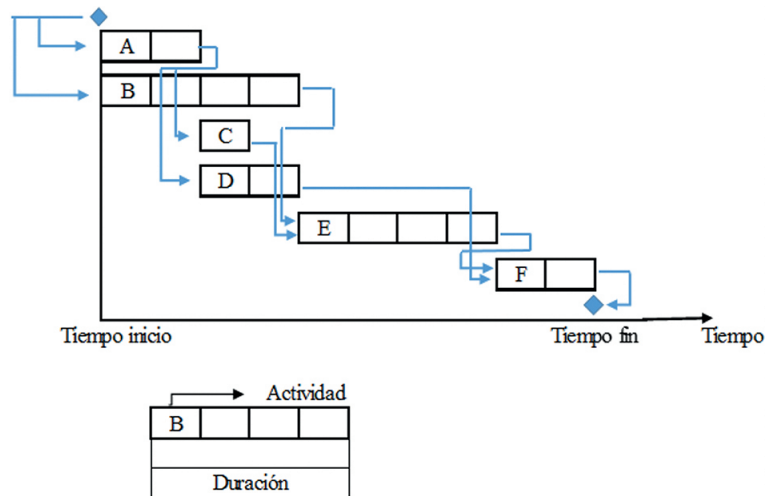
Ilustración 13. Actividades y Duraciones



Fuente: Autor

- **Paso 2:** Identificar las relaciones de precedencia de cada actividad

Ilustración 14. Diagrama de barras



Fuente: Autor

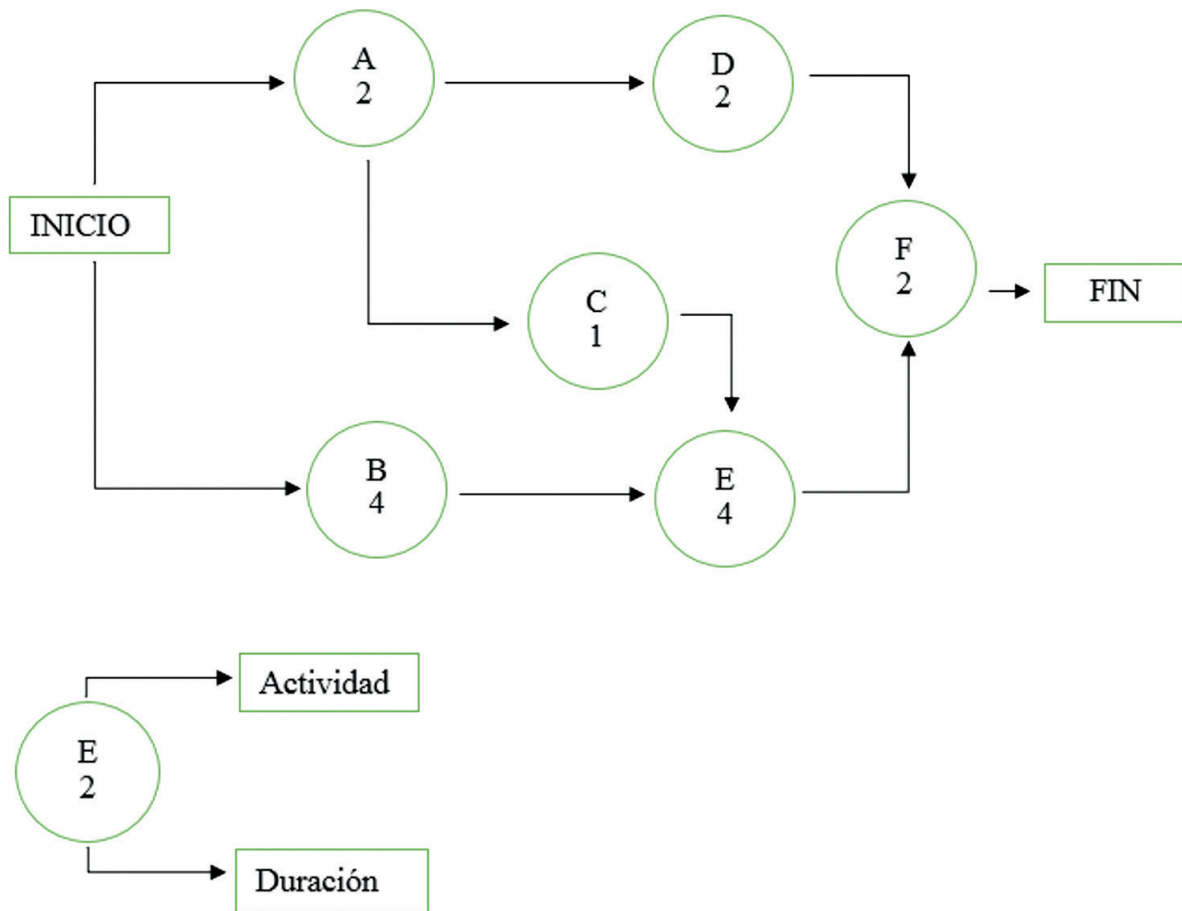
8.10. DIAGRAMA DE NODOS

Es un gráfico que sirve para ordenar las actividades y detectar la ruta crítica, esto por medio de un método que se divide en dos etapas, paso adelante y paso atrás, los cuales identifican los tiempos tempranos y tiempos tardíos de inicio y de fin de las actividades, con sus tiempos de holgura correspondientes.

Tabla 22. Datos iniciales diagrama de nodos

ACTIVIDAD	DURACIÓN	PREDECESORA
A	2	-
B	4	-
C	1	A
D	2	A
E	4	B, C
F	2	D, E
FIN	0	F

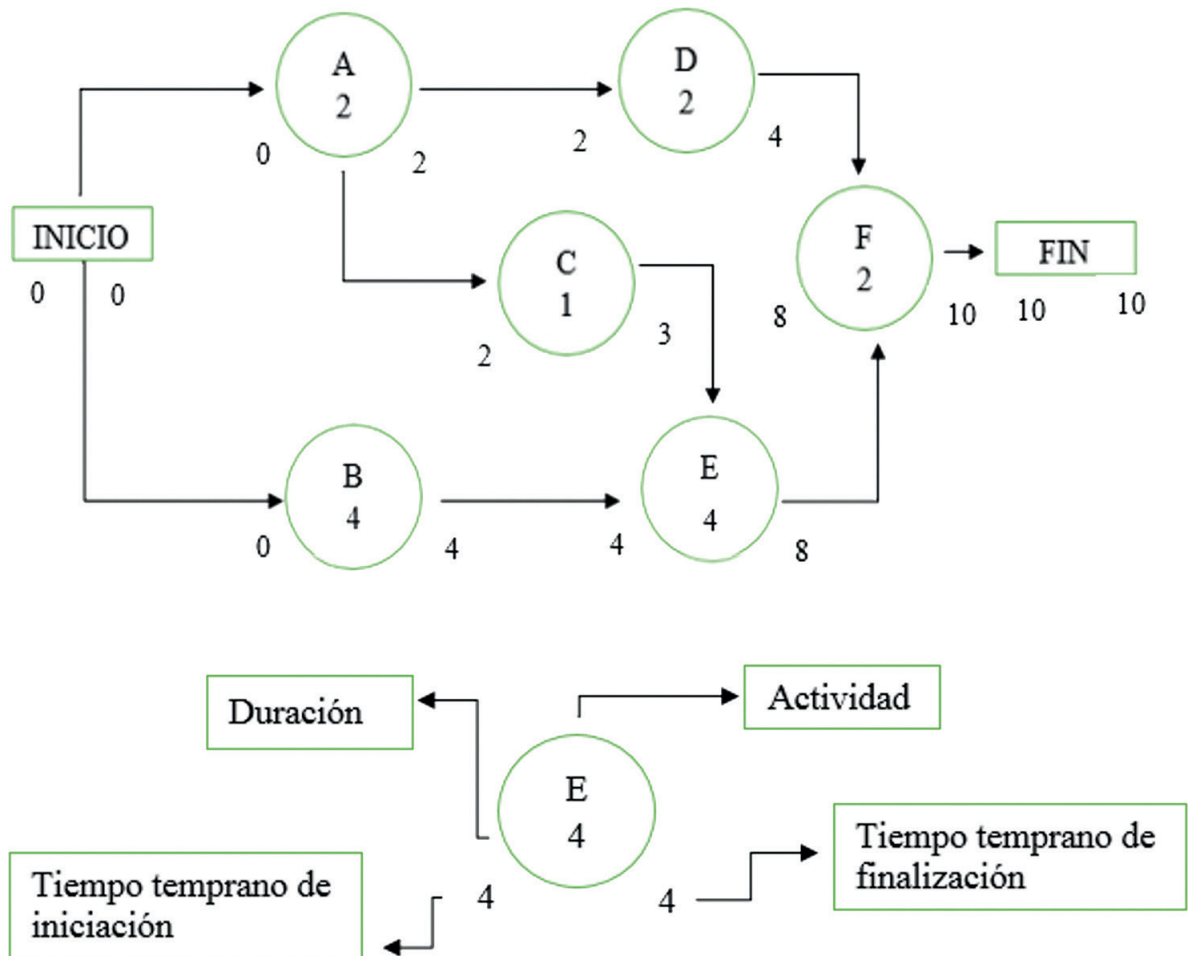
Ilustración 15. Diagrama de nodos



Fuente: Autor

- **Paso 1:** Determinación de tiempos tempranos. Para esto se emplea el paso adelante, que consiste en la sumatoria de las duraciones de las actividades, empezando desde el inicio del proyecto plasmado en un gráfico como el que se observa en la *ilustración 15*.

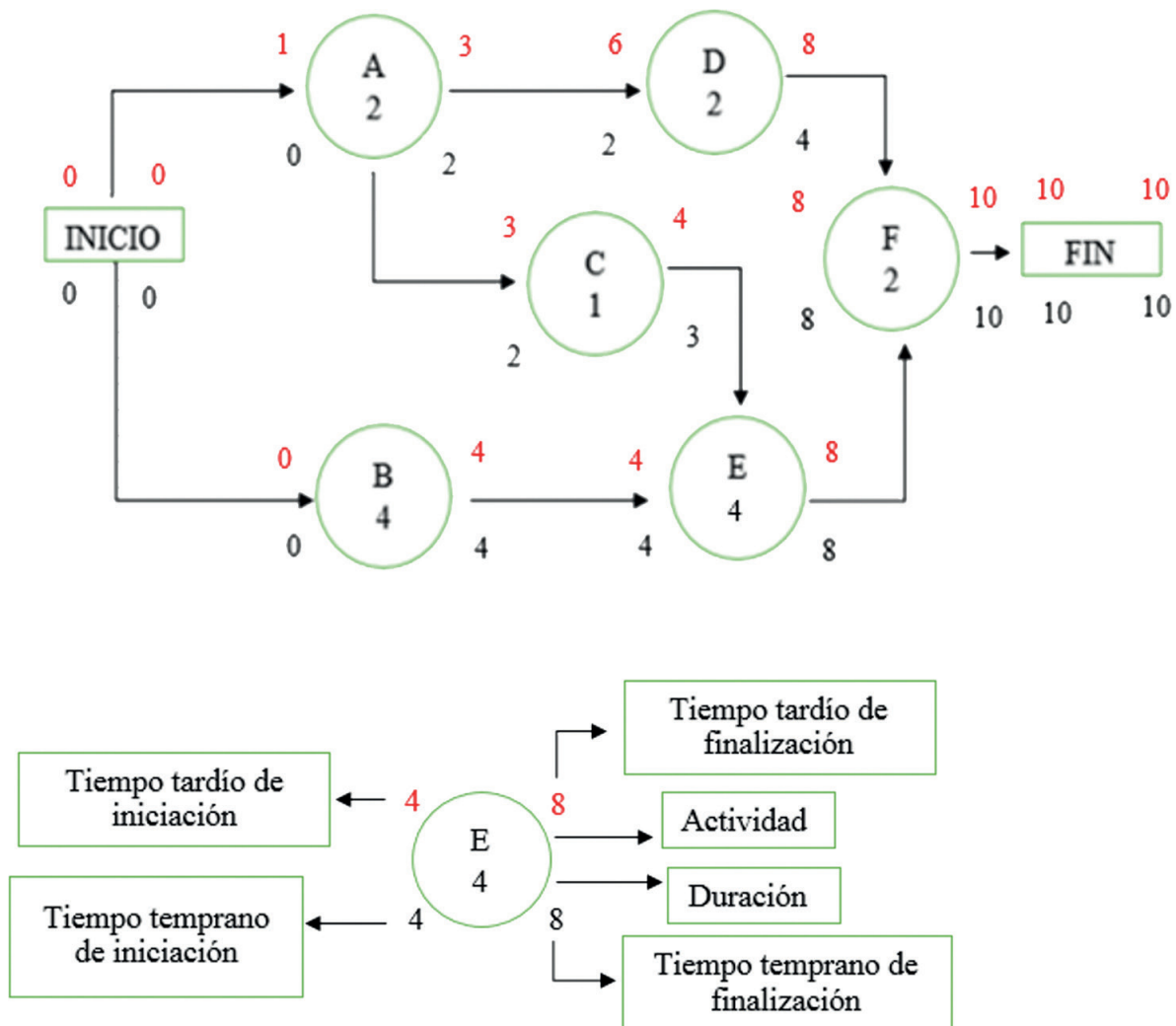
Ilustración 16. Tiempos tempranos



Fuente: Autor

- **Paso 2:** Determinación de tiempos tardíos. Para esto se emplea el paso atrás que consiste en restar la duración total del proyecto con las duraciones de cada actividad comenzando desde el fin del proyecto plasmado en la ilustración 16.

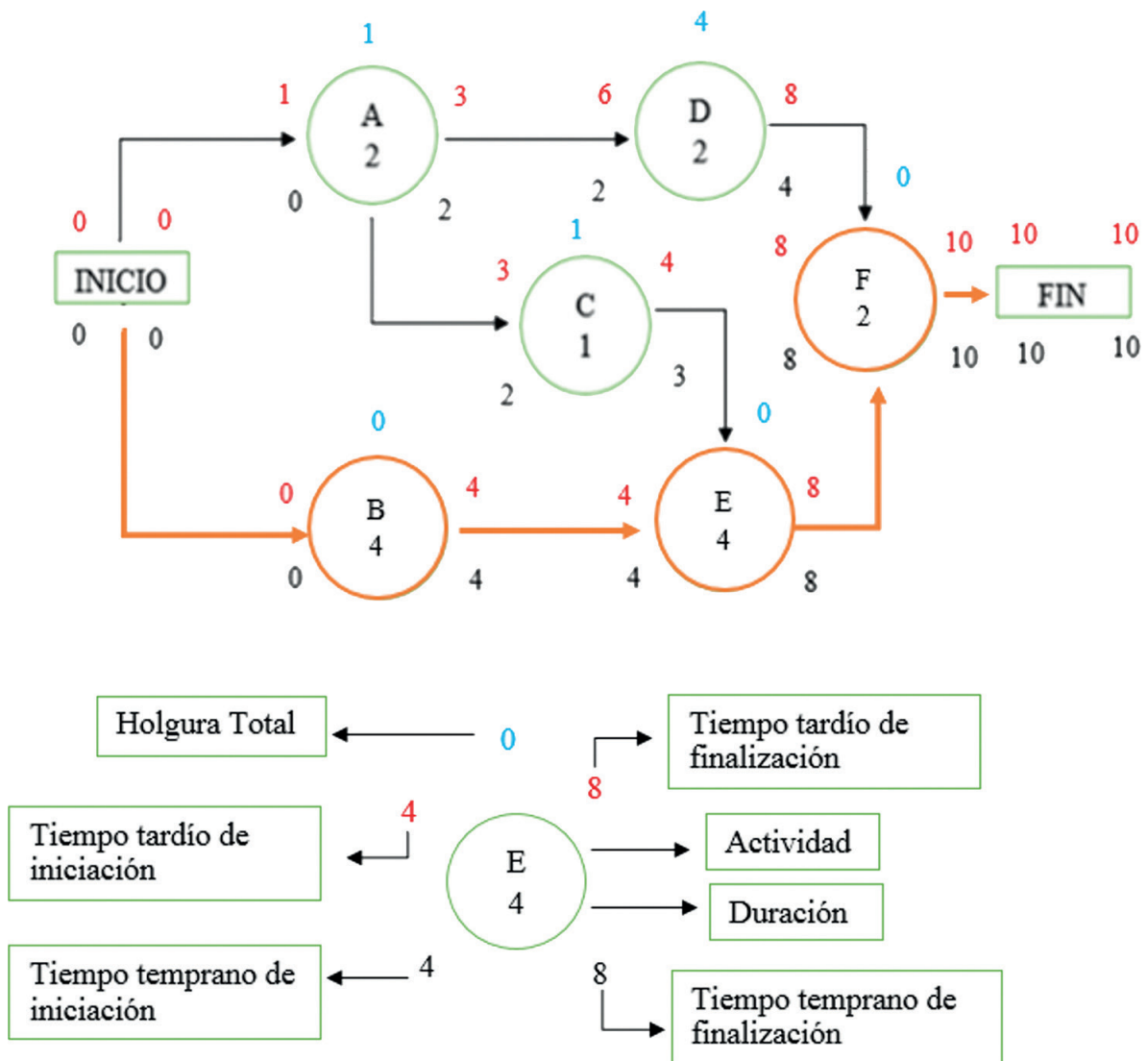
Ilustración 17. Tiempos tardíos



Fuente: Autor

- **Paso 3:** Determinación de la holgura y la ruta crítica, es la diferencia entre los tiempos tardíos y tiempos tempranos de inicio y fin de cada actividad. Como se observa en la *ilustración 18*. La ruta crítica se determina con las actividades que tienen diferencia igual a 0

Ilustración 18. Ruta crítica

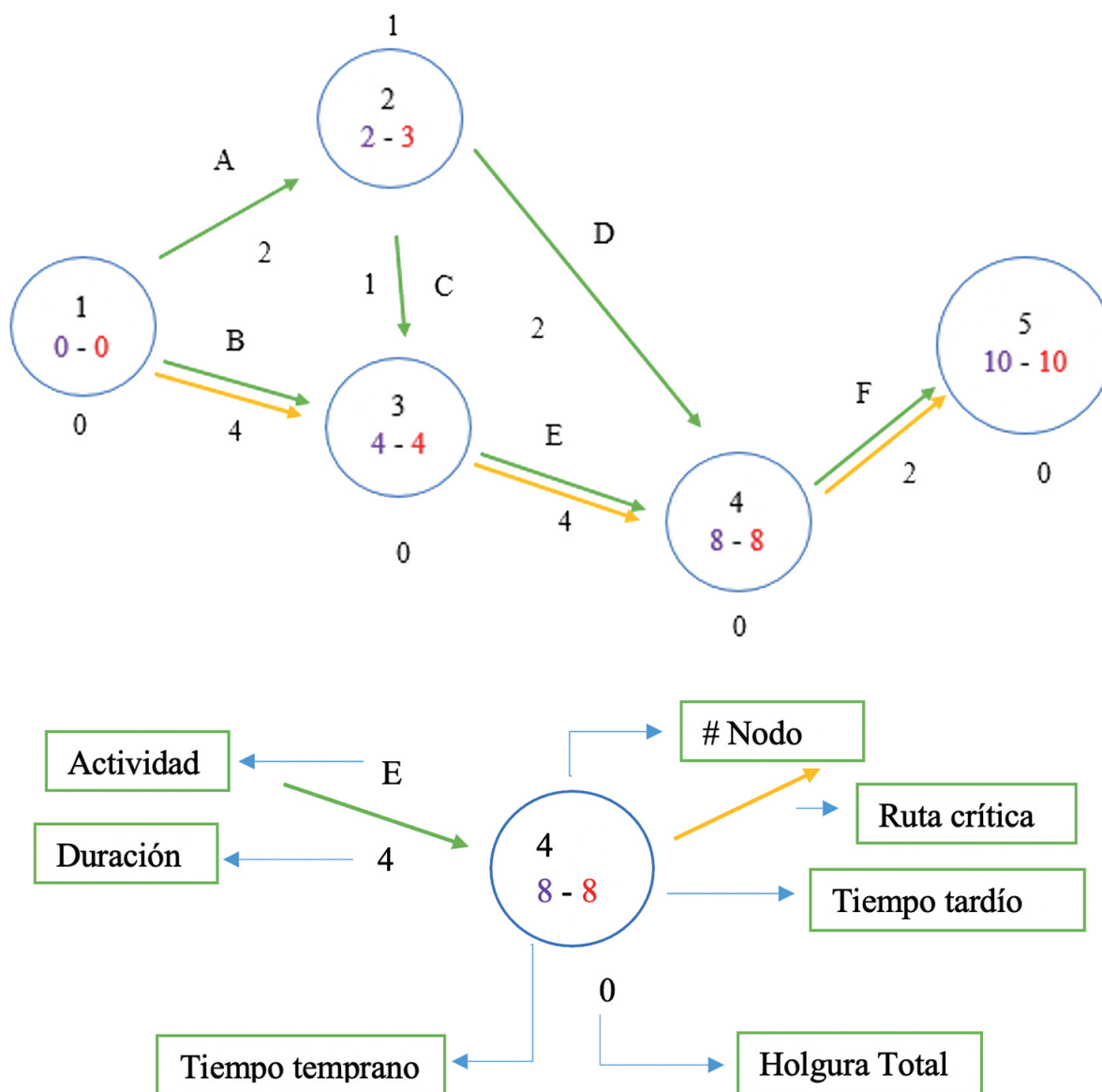


Fuente: Autor

ruta crítica (B, E, F)

8.11. DIAGRAMA DE FLECHAS

Ilustración 19. Diagrama de flechas



Fuente: Autor

Debe realizarse con una perspectiva integral del proyecto, basada en la experiencia, el conocimiento del proyecto, así como el registro histórico y debe verificarse con la estimación de duraciones, con la seguridad de que las cuadrillas tienen suficiente espacio de trabajo.

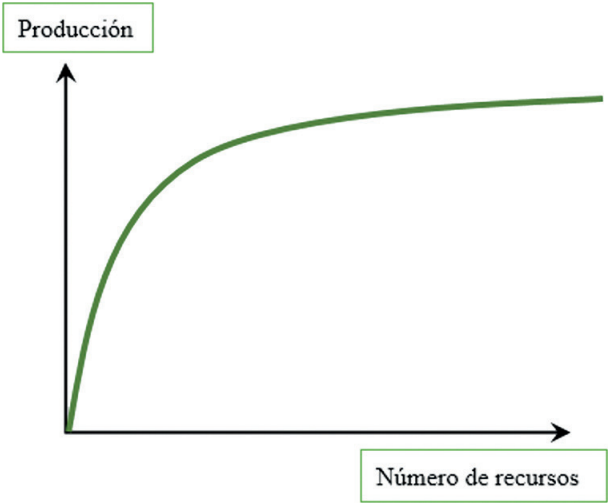
Es necesario tener en cuenta los factores que impactan la productividad, que en muchas de las oportunidades obedecen a:

- Condiciones del sitio tales como: Clima, topografía, congestión, desorden, accesos, necesidad de transporte vertical u horizontal, etc.
- Idoneidad de los trabajadores.
- Puntualidad en la llegada de insumos.
- Operación adecuada de los equipos complementarios (Torre grúa, etc.).
- Clima laboral del proyecto.
- Situación del sector (deprimido, en auge).
- Modularidad de partes a ensamblarse.
- Planeación adecuada o inadecuada de las operaciones en el sitio.
- Horas extras.
- Idoneidad de los supervisores
- Esquema contractual (por tiempo o a destajo).

4.1. ASIGNACIÓN DE RECURSOS Y DURACIÓN DE LAS ACTIVIDADES

Ley de los rendimientos marginales decrecientes: incrementar la cantidad de un recurso productivo en el desarrollo de una tarea, provoca que el rendimiento de la tarea sea menor a medida que incrementamos este recurso, siempre y cuando se mantengan el resto de factores a nivel constante.

Gráfica 11. Ley de los rendimientos marginales decrecientes



Fuente: Autor

Para la asignación de recursos se debe tener en cuenta la duración y productividad de la actividad, es decir el rendimiento. La ley de los rendimientos marginales decrecientes permite aumentar el número de recursos y mejorar la productividad para cierta actividad hasta un punto llamado *crash*, después de ese punto la productividad no puede mejorarse, aunque los recursos se aumenten, como se observa en la *gráfica 11*. Ya que el aumento de recursos tiende a que relación productividad-recursos se vuelva asintótica.

4.2. ASIGNACIÓN DE RECURSOS LIMITADOS

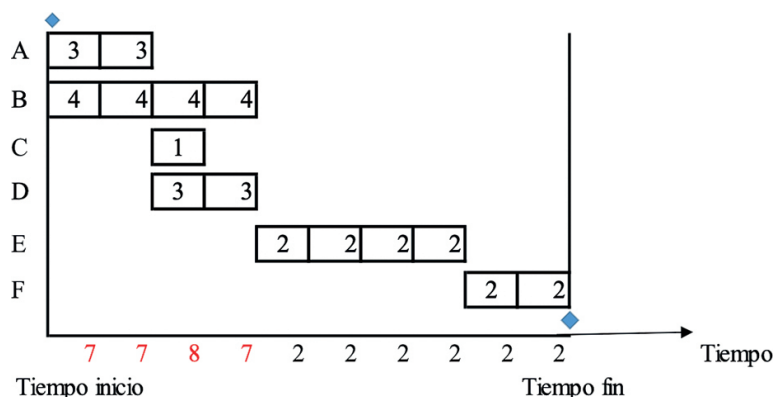
Tomando el siguiente ejemplo se tiene una disponibilidad de 6 recursos por día

Tabla 23. Asignación de recursos limitados

ACTIVIDAD	DURACIÓN	PREDECESORA	RECURSOS
A	2	-	3
B	4	-	4
C	1	A	1
D	2	A	3
E	4	B, C	2
F	2	D, E	2

Con la utilización de sólo 6 soldadores disponibles se genera una deficiencia de éstos, como se puede apreciar en la gráfica 12 en la que en algunos días es necesario contar con más de 6.

Gráfica 12. Asignación de recursos



Fuente: Autor

Los números en rojo de la *gráfica 12* indican que de acuerdo a los recursos disponibles, los primeros cuatro días no se contaría con los recursos necesarios para desarrollar la actividad. Dada esta situación se podría considerar que el proyecto no es factible, pero es conveniente, identificar el problema y ver la posible solución. Para esto se emplean los algoritmos heurísticos.

Los algoritmos heurísticos, no son de optimización por lo que no generan la mejor solución, sólo producen una de muchas soluciones inclusive a veces no generan solución debido a su limitantes, que consideran, que no se pueden partir las actividades y las duraciones de éstas son fijas. Dentro de estos métodos tenemos varios tipos, lo seriales o en paralelo.

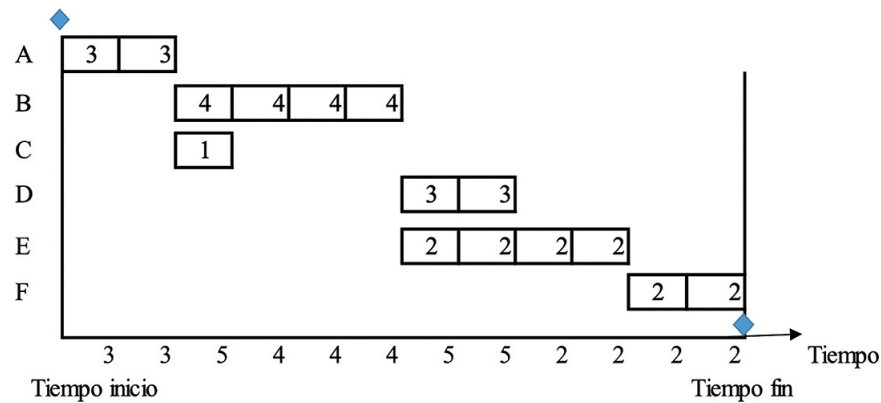
9.2.1. Método Serial con Ordenamiento / Priorización de las Actividades por Tiempos Tardíos de Iniciación.

El procedimiento a seguir dentro de este método es el siguiente:

1. Realizar un CPM, sin consideración de recursos ver ejemplo anterior (*ilustración 18*).
2. Ordenar las actividades por tiempos tardíos de iniciación de forma ascendente. (A, B, C, D, E, F).

3. Se programan las actividades en ese orden, con la condición de que si no hay los recursos disponibles la actividad se atrasa hasta que se encuentre disponibilidad de recursos como se muestra en la *gráfica 13*.

Gráfica 13. Nivelación de recursos



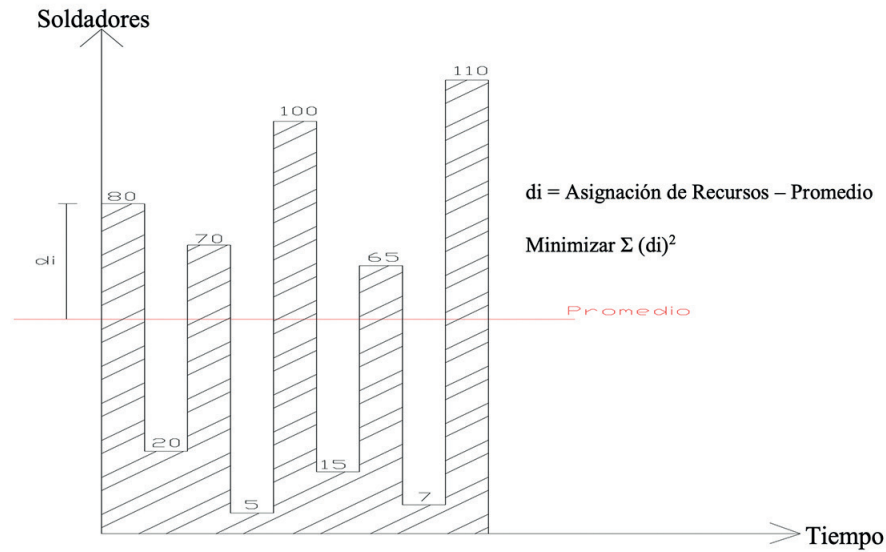
Fuente: Autor

Con esta solución *gráfica 13*, se ve claramente que no se excede el número de soldadores, pero se ve afectada las actividades "B, D, E y F", y por consiguiente la fecha de terminación del proyecto se extendió hasta 12 días.

9.2.2. Método Paralelo con Ordenamiento / Priorización de las Actividades por Tiempos Tardíos de Iniciación.

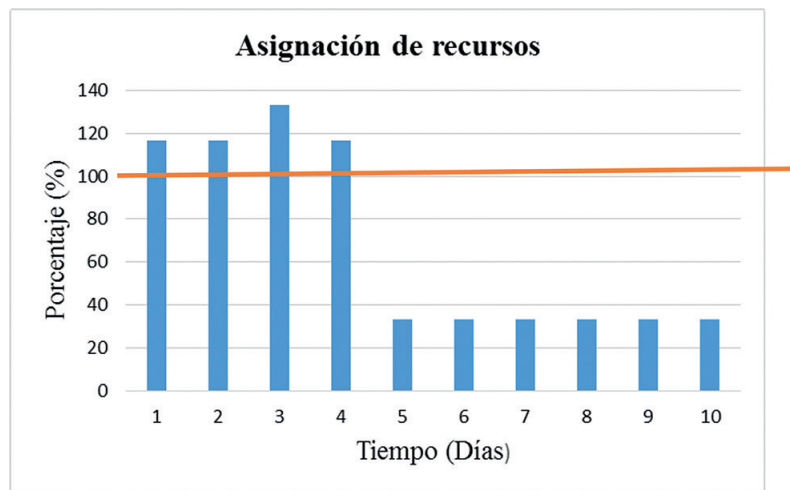
Otra metodología utilizada para la solución de la asignación limitada de recursos es la de nivelación. Consiste en lograr converger en un cronograma de actividades bien equilibradas (promedio) *gráfica 14*.

Gráfica 14. Nivelación de recursos



Fuente: Autor

Gráfica 15. Esquema de asignación de recursos



Fuente: Autor

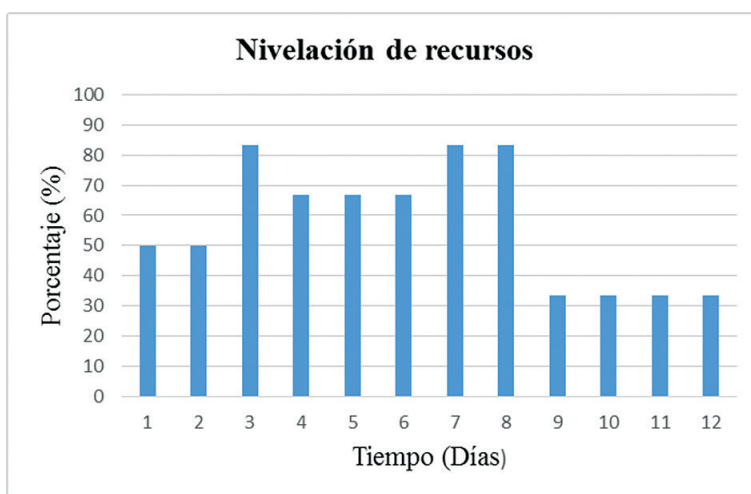
En el *gráfico 15* se representa el método paralelo con ordenamiento/priorización de las actividades por tiempos tardíos de iniciación, que es un algoritmo matemático heurístico que representa el porcentaje de recursos diarios necesarios; se observa que los primeros cuatro días la solicitud de recursos es mayor a los recursos con los que se cuenta para el desarrollo de las actividades, es decir en esos días día se necesitan siete y ocho unidades

de recurso, pero solo se puede contar con seis unidades. Esto representa un porcentaje del **116%** y **133%** así sucesivamente.

Luego de aplicar el método heurístico, se evidencia en la *gráfica 15* que la nivelación de recursos fue efectiva, aunque el tiempo del proyecto se extendió dos días más.

Es importante tener en cuenta que los costos indirectos están muy relacionados con la duración del proyecto si reduzco la duración del proyecto reduzco los costos indirectos, los costos directos tienen una relación más compleja.

Gráfica 16. Esquema de nivelación de recursos

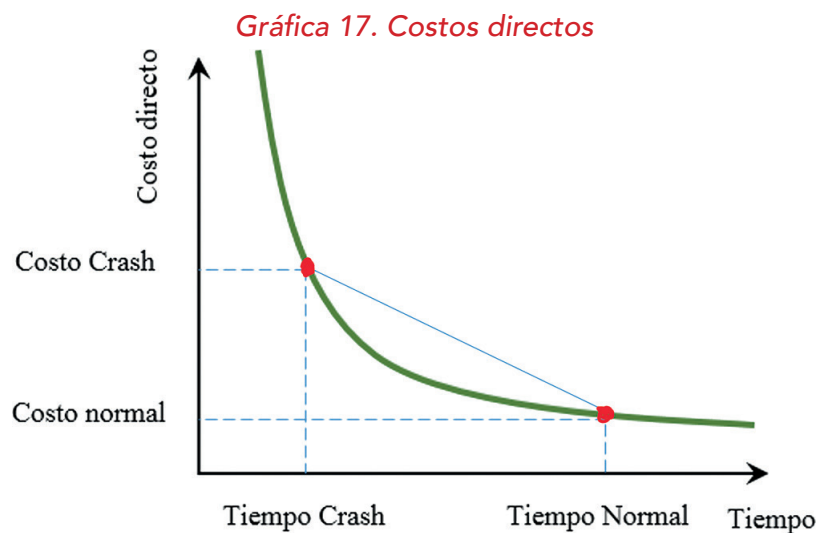


Fuente: Autor

BALANCE COSTO TIEMPO "TIME-COST TRADE OFF" (GANANCIA – SACRIFICIO)

10.

Se genera un modelo de costos directos de las actividades y se plantea como se muestra en la *gráfica 16*.



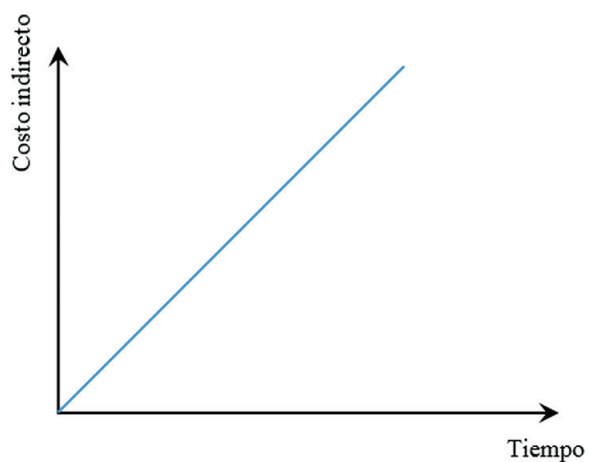
Fuente: Autor

- El costo crash representa el costo mínimo después de aplicar el modelo.
- El costo normal representa el costo mínimo sin aplicar el modelo
- El tiempo o duración crash representa la duración mínima después de aplicar el modelo.
- El tiempo o duración normal representa el costo mínima sin aplicar el modelo.

Del punto duración normal yo puedo seguir reduciendo la duración pero tengo una penalización que se ve reflejado en el aumento de costos. Del punto duración crash ya no puedo disminuir la duración dado que la curva se vuelve asintótica a ese punto. La pendiente de la línea que une los dos puntos representa la cantidad d dinero que tengo que pagar para reducir el tiempo.

Se genera un modelo lineal de costos indirectos de las actividades y se plantea como se muestra en la *gráfica 17*.

Gráfica 18. Costos indirectos

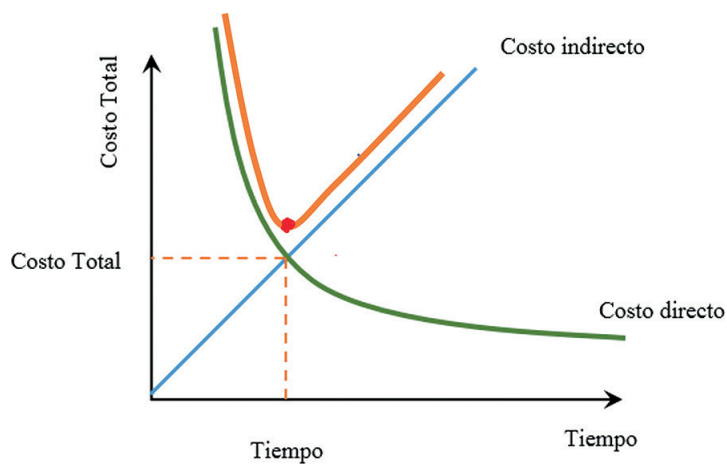


Fuente: Autor

Los costos indirectos al ser un valor constante correspondiente al AIU se comportan de forma lineal.

De la trasposición de los costos directos y los costos indirectos obtenemos el balance costo tiempo .

Gráfica 19. Balance costo tiempo



Fuente: Autor

En la gráfica 18 observamos que la curva naranja representa la suma de costos directos y los indirectos

Tabla 24. Balance costo tiempo

Actividad	Actividad predecesora	Tiempo Normal	Tiempo Crash	Costo Normal	Costo Crash	Pendiente		Sobre-costos	Ahorro
A	-	32	27	\$ 6.400	\$ 8.000	320	5	\$ 1.600	\$ 1.750
B	A	40	34	\$ 4.800	\$ 7.200	400	6	\$ 2.400	\$ 2.100
C	B	50	42	\$ 10.000	\$ 11.000	125	8	\$ 1.000	\$ 2.800
D	C	24	17	\$ 2.800.00	\$ 3.500	100	7	\$ 700	\$ 2.450
E	D	30	22	\$ 48.000	\$ 56.000	1000	8	\$ 8.000	\$ 2.800

La *tabla 24* representa cada una de las actividades con sus respectivos tiempos y costos en que normalmente se desarrollan, así como los tiempos y costos crash. La columna 7 representa la pendiente entre costos crash y normal en relación con los tiempos normal y crash. La columna 8 representa los días de diferencia entre los dos tiempos, la columna 9 es el sobre costo que causa el costo crash con respecto al costo normal y la columna 10 representa el producto entre los días de ahorro y el costo indirecto diario (\$350).

Con el diagrama de nodos se determina la ruta crítica y luego se ordena de menor a mayor según la pendiente de cada actividad

- Ruta crítica: (A, B, C, D, E)
- Ruta crítica ordenada: (D, C, A, B, E)

Tabla 25. Costos de las actividades

Costos	Costo Normal	D	C	A	B	E
Costo Directo	\$ 72.000	\$72.700	\$73.700	\$75.300	\$77.700	\$85.700
Costo Indirecto	\$ 61.600	\$59.150	\$56.350	\$ 4.600	\$52.500	\$49.700
Costo Total	\$133.600	\$131.850	\$130.050	\$129.900	\$130.200	\$135.400
Duración	176	169	161	156	150	142

- **Costo directo:** en la primera columna se representa el costo normal del proyecto, luego según la actividad, se representa el acumulado del costo normal inicial más el costo generado por el sobre costo de la actividad.

- **Costo indirecto:** es la diferencia entre el costo normal y el ahorro.
- **Costo total:** es la suma entre el costo directo y el costo indirecto.
- **Duración:** los días que se emplean para el desarrollo de las actividades.

En la *tabla 25* se observa que la relación máxima entre costo y tiempo de desarrollo de actividades se presenta en la actividad A, generando 20 días de ahorro en el tiempo final de duración del proyecto y disminuyendo el costo en \$3.700,00.

INTEGRACIÓN PRESUPUESTO-PROGRAMA DE ACTIVIDADES

11.

La distribución de recursos en el tiempo ocurre en el momento de la planeación detallada del proyecto (final de la etapa de diseño y etapa de construcción), cuando se necesita conocer el consumo detallado de recursos del proyecto, para coordinar compras y suministros. Para esto se requiere información del programa de actividades y del presupuesto.

Ejemplo: En las tablas 26 y 27 se presenta la información de presupuesto y programa de actividades para un proyecto base simplificado pero realista.

Tabla 26. Información del programa de actividades

Ítem	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Cuadrillas asignadas
Mampostería piso 1	\$ 72.000	\$72.700	\$73.700
Mampostería piso 2	\$ 61.600	\$59.150	\$56.350
Mampostería piso 3	\$133.600	\$131.850	\$130.050

Tabla 27. Información del presupuesto "capítulo de mampostería"

Insumo	Unidad	Cantidad
Ladrillo (Bloque No. 5)	BL	17000
Cemento	kg	3300

Para deducir la distribución del uso de recursos en el tiempo con la información dada se requiere conocer en forma exacta las cantidades de obra de mampostería de cada piso, en forma aproximada, se puede deducir una distribución de recursos por piso, de acuerdo con unas proporciones de cantidad de obra por piso aproximadas, para el caso del ejemplo anterior, los pisos son muy similares. En las tablas 28 y 29 observamos los resultados obtenidos en cuanto a la distribución de los recursos en el tiempo.

Tabla 28. Distribución de los recursos en el tiempo

Recursos	Fecha de inicio
Oficiales	5 oficiales, de mayo 7 a julio 11
Ayudantes	5 ayudantes, de mayo 7 a julio 11

Tabla 29. Distribución de los recursos en el tiempo

Recursos	Cotización	Pedido (anticipo)	Suministro
Ladrillo	Febrero de 2004	Marzo 15 2004	3000 BL/semana desde mayo 1
Cemento	global	global	650 kg/semana desde mayo 1

11.1. DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE CAJA

En cada una de las etapas del proyecto entra en juego el flujo de caja. En la factibilidad, aparece un flujo de caja global, fundamentado en el registro histórico de proyectos similares, ajustado a las necesidades del proyecto. Durante el diseño, aparece un flujo de caja aproximado fundamentado en actividades macro y en prorratio de costos a lo largo de las actividades respectivas. Durante la construcción, está implícito en la provisión de fondos, que requiere flujo detallado y preciso para el periodo correspondiente.

El flujo de caja se deduce del estimativo de egresos (presupuesto de costos) así como, del estimativo de ingresos (estudios de mercado, estudios de demanda, acuerdo de pagos), atendiendo los tiempos relacionados en el cronograma y la forma de pago en pesos constantes (sin inflación; tasas reales) y pesos corrientes (con inflación).

Es importante tener en cuenta que en la etapa de factibilidad la información es limitada y frecuentemente se realizan suposiciones en la distribución de egresos en el tiempo constante ajustándola a una curva de Gauss; estas suposiciones surgen del registro histórico propio. La información de ingresos es relevante para poder definir tanto el flujo de caja del proyecto, como el flujo de caja de los inversionistas que claramente son diferentes así como sus rentabilidades, p.e., tenemos un proyecto que dura 1 año y que nos genera una utilidad neta de \$5 con unos costos totales de \$100, la rentabilidad del proyecto sería de $\$5/\100 es decir 5%. Si los inversionistas aportaron \$1 en el tiempo inicial del proyecto y les devolvieron \$5 al final, la rentabilidad de los inversionistas correspondería al 400%.

El flujo de caja del proyecto y el de los inversionistas debe ser positivo en su acumulado, presentando una rentabilidad atractiva que compense los riesgos de los inversionistas.

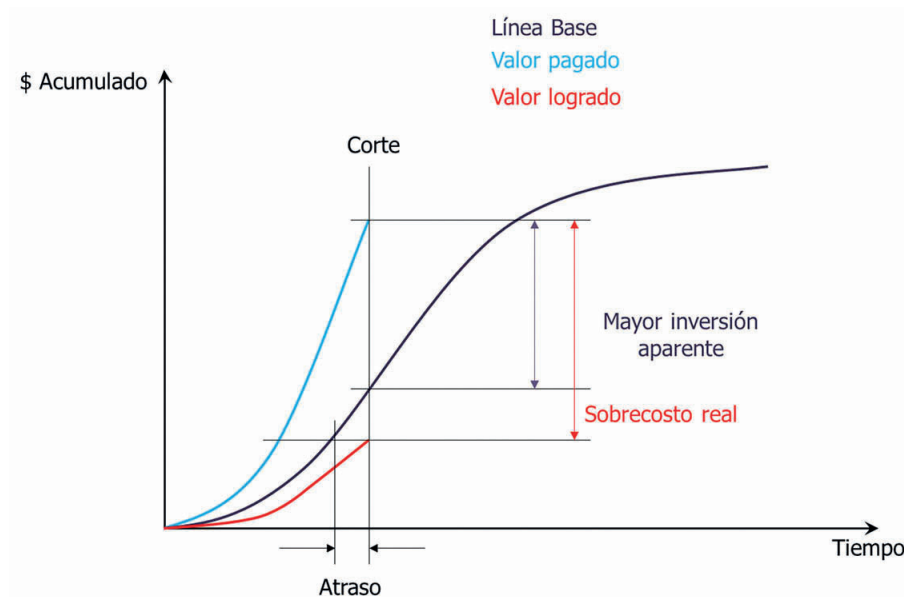
En las etapas de diseño y construcción se debe considerar una ventana a término del proyecto aproximada y una ventana a los dos periodos contables siguientes precisa.

12.

MÉTODO DEL VALOR LOGRADO "EARNED-VALUE METHOD"

El concepto de valor logrado parte de la línea base y lo realizamos para comparar avances como podemos observar en la gráfica 19.

Gráfica 20. Método del valor logrado o valor ganado



Fuente: Autor

Línea base $\sum (Cantidades\ planeadas)_i * (Precio\ unitario\ planeado)_i$

Valor pagado $\sum (Cantidades\ ejecutadas)_i * (Precio\ unitario\ ejecutado)_i$

Valor logrado $\sum (Cantidades\ ejecutadas)_i * (Precio\ unitario\ planeado)_i$

Este método permite aproximar el tiempo en que se completaría el proyecto si mantenemos las condiciones con las que se construyó el cronograma o las condiciones que se presentaron durante el desarrollo del proyecto. Es posible estimar el costo total del proyecto.

Acrónimo de: *Program Evaluation and Review Technique* por sus siglas en inglés o también evaluación y revisión de programas. Fue desarrollado para el proyecto Polaris en 1958 que en su momento tenía gran incertidumbre en la duración.

13.1. ELEMENTOS BÁSICOS DE PERT

Distribución Beta para estimar la duración:

$$\bar{D} = \frac{D.Opt. + 4D.m.p. + D.Pes.}{6} \quad \overline{\sigma_D} = \frac{D.Pes. - D.Opt.}{6} \quad \text{donde:}$$

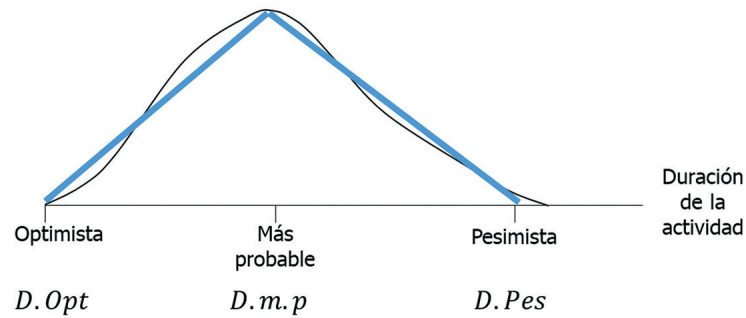
$\bar{D}$ = Duración esperada (centro del triángulo)

$\overline{\sigma_D}$ = Medida de la dispersión de la duración esperada (desviación estándar)

$(\overline{\sigma_D})^2$ = Varianza

La duración total sigue el teorema del límite central y por ende una distribución normal.

Gráfica 21. Distribución Beta



Fuente: Autor

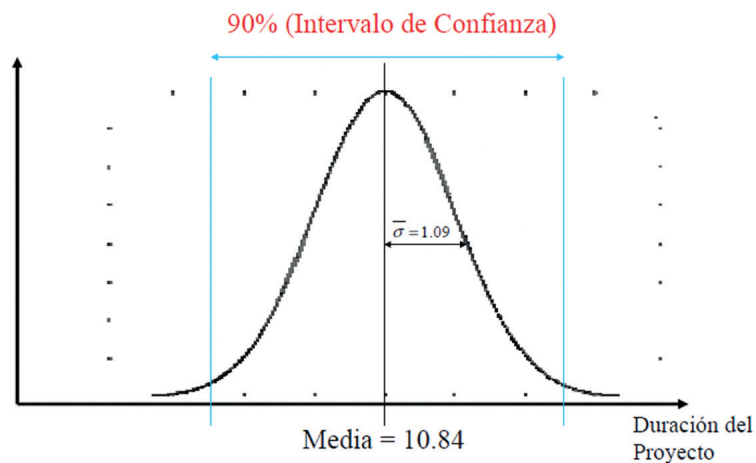
Teorema del límite central suma de variables aleatorias independientes.

$$media = \sum_{\text{ruta crítica}} \text{Medias } i \quad \text{varianza} = \sum_{\text{ruta crítica}} \text{Varianzas } i$$

13.2. MODELACIÓN DE LA DURACIÓN TOTAL Y SU INCERTIDUMBRE

Aplicando el CPM deducimos la ruta crítica, este CPM me proporciona una dato puntual por el contrario el PERT me genera un nivel de confianza y me permite identificar el riesgo para tomar mejores decisiones.

Gráfica 22. Distribución normal estándar



Fuente: Autor

Metodología:

- Con los tiempos medios esperados calculados para cada actividad, apoyándose en la metodología de C. P. M., estimar la ruta crítica del proyecto (puede resultar más de una ruta).
-
- Estimar la duración esperada del proyecto: la suma de las duraciones esperadas de las actividades de la ruta crítica.
- Cuantificar la incertidumbre del proyecto: la suma de las varianzas de las actividades de la ruta crítica. Cuando hay más de una ruta crítica, se toma la mayor varianza entre ellas.

El teorema de límite central nos permite establecer que la duración esperada de un proyecto tiene una distribución normal, ya que es una variable aleatoria, compuesta por un número grande de actividades y cada actividad en una variable aleatoria e independiente.

La duración esperada de una red de actividades independientes y aleatorias, es la suma de las duraciones esperadas de cada actividad de la red. La duración esperada del proyecto, es la suma de las duraciones esperadas de las actividades de la ruta crítica.

$$\bar{D}.Proyecto = \sum \bar{D}_i$$

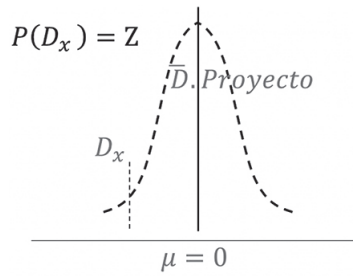
La varianza de una red de actividades independientes y aleatorias, es la suma de las varianzas de cada actividad de la red. La varianza del proyecto, es la suma de las varianzas de las actividades de la ruta crítica.

$$Var.proyecto = (\sigma_{\bar{D}.proyecto})^2 = \sum (\sigma_{D_i})^2$$

Para la estimación de probabilidades:

$$Z = \frac{D_x - \bar{D}.Proyecto}{\sigma_{D.proyecto}}$$

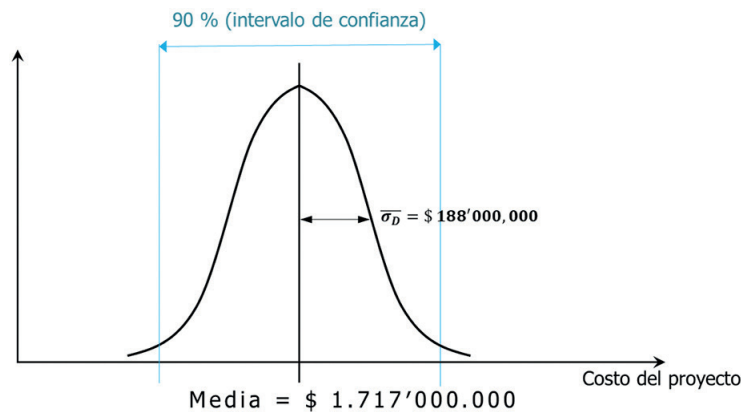
Gráfica 23. Normalización de la duración del proyecto



Fuente: Autor

Aplicar una metodología análoga al P. E. R. T. pero en costos, con estimativos de: Costo optimista, costo más probable, costo pesimista, resulta en la modelación de la incertidumbre total en los costos ver *gráfica 23*.

Gráfica 23. Modelación del costo total y su incertidumbre



Fuente: Autor

13.3. OTROS MODELOS PARA MANEJO DE LA INCERTIDUMBRE

- Tradicional, con "imprevistos"
 - » En costos, como porcentaje del costo total
 - » En tiempos, como "margen" de tiempo
- Escenarios y rangos
 - » Escenario optimista.
 - » Escenario pesimista
 - » Escenario más probable

13.3.1. Análisis de sensibilidad / por escenarios

Se usan herramientas determinísticas para modelar situaciones no determinísticas, cambiando variables en un modelo determinístico para observar el efecto de estos cambios, analizando escenarios o rangos:

- “Range Estimating” (estimación por rango).
- Análisis por escenarios.

Ejemplo de análisis por escenarios:

Ilustración 20. Estimativos para la inflación

Caso de inflación baja		Caso de inflación moderada		Caso de inflación alta	
Año	Inflación	Año	Inflación	Año	Inflación
1997	45,0%	1997	45,0%	1997	45,0%
1998	29,0%	1998	29,0%	1998	29,0%
1999	22,0%	1999	22,0%	1999	22,0%
2000	18,0%	2000	18,0%	2000	18,0%
2001	17,0%	2001	17,0%	2001	17,0%
2002	11,0%	2002	11,0%	2002	11,0%
2003	7,0%	2003	10,0%	2003	13,0%
2004	4,0%	2004	9,0%	2004	15,0%
2005	3,0%	2005	8,0%	2005	14,0%

Fuente: Autor

14.

LEAN CONSTRUCTION

Surge a partir de la filosofía “lean production” y basada en los principios “lean Thinking”: Especificación de valor, flujo continuo, perfección, identificación de la cadena de valor y jalón; siendo una nueva filosofía de producción como flujo de recursos que busca maximizar las actividades que generan valor y minimizar las actividades que no generan valor, apoyada en TQM (Total Quality Management), JIT (Just In Time), círculos de calidad, ingeniería concurrente, mejoramiento continuo e ingeniería del valor.



Fuente: Autor

El flujo de procesos *ilustración 21* está caracterizado por tiempo, costo y VALOR. Las actividades que agregan valor son aquellas que transforman recursos y/o información para satisfacer los requerimientos del cliente. Las actividades que no agregan valor son aquellas que consumen tiempo, recursos o espacio y no agregan valor al producto.

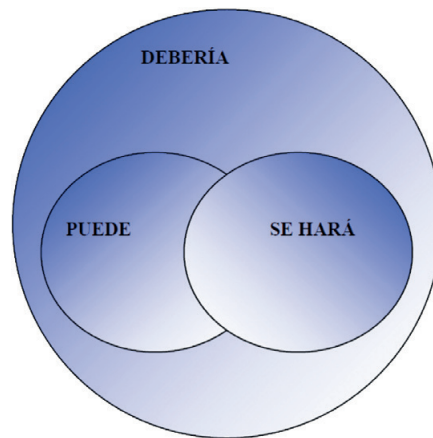
Los principios fundamentales de Lean Construction se resumen en reducir las actividades que no agregan valor, incrementar el valor del producto final, considerando las necesidades y requerimientos del cliente, reduciendo la variabilidad y el tiempo de ciclo, incrementando la transparencia y enfocando el control a lo largo de todo el proceso. Todo esto nos lleva a implementar el mejoramiento continuo a lo largo de nuestras actividades.

14.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE PÉRDIDAS

Las pérdidas pueden darse por inactividad en el trabajo: esperas, inactividad, desplazamientos, descanso y necesidades psicológicas, o por trabajo inefectivo: necesidad de rehacer trabajos, errores y defectos, trabajo lento y generación de inventarios. Algunas de estas causas pueden ser controlables por administración, por procedimiento, por uso de recursos y por sistemas de información. Algunas por el contrario pueden ser no controlables p.e. por procesos externos o por causas del ambiente.

Una herramienta usada para reducir pérdidas en los procesos constructivos es *Last Planner* (último planeador), que consiste en generar un plan estricto de compromisos para los participantes en un proyecto. Se fundamenta en un plan de acciones semanales y en su seguimiento semanal.

Ilustración 22. Filosofía del desarrollo del plan de compromisos



Fuente: Autor

Semanalmente se mide el porcentaje de acciones completadas (PAC), que es el indicador de compromisos cumplidos y que ayuda a jalonar los procesos.

BIBLIOGRAFÍA

- Barrie, D., and Paulson B. C. (1984). Professional Construction Management. 2nd Edition. McGraw Hill.
- Botero, L. F. B. (2006). Construcción sin pérdidas: análisis de procesos y filosofía Lean Construction. Legis.
- Consuegra, J. G. (2002). Presupuestos de construcción. 2ª Edición, Editorial Banhar.
- Crespo Escobar, S. (2013). Materiales de construcción para edificación y obra civil. ECU. <https://elibro.net/es/lc/usta/titulos/62278>
- Forero, H. G. (2011). Presupuesto: su control en un proyecto arquitectónico.
- Jha, C. K. (1980). Construction Management. (pp. 63–66). pp. 63–66.
- José Luis Macchia. (2007). Cómputos, costos y presupuestos. Nabuco, pp. 1–292.
- López Rodríguez, Fernando. (2012). Teoría y tecnología del proyecto (I) : dirección y gestión de proyectos. Editorial Académica Española.
- Marín Gaviria, M. E., Vélez Blandón, L. G., Morales Londoño, M., & Martínez Moreno, Ó. E. (2006). Guía práctica para el manejo e interventoría de obras civiles bajo el esquema de gestión de la calidad.
- Mattos, A. D. (2014). Métodos de planificación y control de obras: del diagrama de barras al BIM.
- Mínguez, J. B. P., & Moreno, A. S. (2004). Calidad del diseño en la construcción (p. 408). p. 408.
- Moder , J. J., Phillips, C. R. and Davis, E. W. (1983). Project Management with CPM, PERT, and Precedence Diagramming. 2nd Edition. Van Nostrand Reinhold.
- Quintero, B. E. C. (2009). Programación y control de proyectos de construcción utilizando Microsoft Project: estudio de caso: vivienda de interés social. Universidad de la Salle, Facultad Ciencias del Hábitat. Programa Arquitectura. <https://crai-usta-odilotk-es.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/info/programacion-y-control-de-proyectos-de-construccion-utilizando-microsoft-project-00090190>
- Rocio Ortega Mateos, Simona Pecoraio, Adrián Santos Molina¹, Antonia Ruiz Ortigosa y Antonio Martín Ávila (s.a.). Edición y Obra. Editorial Elearning. https://crai-usta-odilotk-es.craiustadigital.usantotomas.edu.co/results?facets=materia_facet_ss:%22Edificaci%C3%B3n%20y%20obra%20civil%22
- Solares, A. V. (2014). Organización y control de obra: modelos para administrar la obra arquitectónica.
- Viola, E. (2011). La calidad de una obra (2a. ed.). Editorial Nobuko. <https://elibro.net/es/lc/usta/titulos/77675>

