

Cartilla De

Construcción



CONTENIDO

LOS PROYECTOS EN LA INGENIERÍA CIVIL.....	7
El éxito en un proyecto y sus factores	8
Propiedades de un proyecto	9
Ciclo de vida de un proyecto	10
Planeación de las actividades de un proyecto	11
LOS COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN.....	13
Clasificación	14
Punto de equilibrio.	15
EL PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN	16
Características del presupuesto	18
Etapas de la construcción de un presupuesto	19
Curva S.....	20
PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN	21
Estructura de desglose de trabajo (EDT).....	21
Programación o cronograma del proyecto.....	23
MÉTODOS DE PLANEACIÓN Y CONTROL	24
Métodos determinísticos.....	24
Método Probabilístico	37
CÁLCULO DE CANTIDADES DE CONSTRUCCIÓN	46
Definición.....	46
Unidades de medida	47
Métodos PARA EL CÁLCULO DE CANTIDADES	51
Sistema inglés	51
Sistema de eje universal.....	51
Sistema de recintos	57
Método Vargas.....	57
Otros métodos.....	57
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)	58
Materiales	65
Mano de obra	65
Estudio de rendimientos exactos	66

Estudio de rendimientos por promedios	67
Pseudorendimientos.....	67
Equipos	67
Tipos de costos.....	68
Capacidad y rendimiento	69
Costo y tiempo de uso	69
Herramienta menor.....	70
MOVIMIENTO DE TIERRAS	83
Clasificación del suelo	83
Consistencia del suelo	85
Nomenclatura	85
Densidad.....	86
Expansión, Compresibilidad y Factor de conversión volumétrica	90
Desperdicios	¡Error! Marcador no definido.
Gestión del valor ganado	97
ANEXOS.....	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104

ILUTRACIONES

Ilustración 1. Ciclo de vida de un proyecto.....	10
Ilustración 2. Importancia de las decisiones y el costo de hacer cambios	12
Ilustración 3. Diagrama de Flujo de Datos del proceso Estimar Costos [1]	13
Ilustración 4. Clasificación estructural de costos	14
Ilustración 5. Clasificación comercial de costos	14
Ilustración 6. Marco limitante de un proyecto [2]	15
Ilustración 7. Curva S común [3]	20
Ilustración 8. Curva S inusual [3]	20
Ilustración 9. Estructura de desglose de trabajo.....	21
Ilustración 10. EDT en tabla.....	22
Ilustración 11. Programación o cronograma de un proyecto	23
Ilustración 12. Diagrama de Gantt.....	24
Ilustración 13. Diagrama CPM	32
Ilustración 14. Elementos de la ruta crítica.....	33
Ilustración 15. Descripción de las fórmulas de tiempo y holgura	33
Ilustración 16. Mano de obra rendimientos exactos [4]	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 17. Clasificación del suelo [5].....	84
Ilustración 18. Límites de Atterberg [6].....	85
Ilustración 19. Tipos de terrenos a partir de sus características técnico-constructivas	87
Ilustración 20. Actividades involucradas en el movimiento de tierras	88
Ilustración 21. Maquinaria involucrada en el movimiento de tierras.....	89
Ilustración 22. Relación entre material en banco, suelto y compactado	90
Ilustración 23. Curva de la gestión del valor ganado.....	101

ECUACIONES

Ecuación 1.....	38
Ecuación 2.....	39
Ecuación 3.....	91
Ecuación 4.....	91
Ecuación 5.....	91

TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de presupuesto.....	17
Tabla 2. Probabilidades de la distribución normal estándar negativa.....	40
Tabla 3. Probabilidades de la distribución normal estándar	40
Tabla 4. Ejemplo del formato de cantidades de construcción.....	46
Tabla 5. Unidades de medida	47
Tabla 6. Nomenclatura del SUCS	86



LOS PROYECTOS EN LA INGENIERÍA CIVIL

El proyecto Manhattan se considera la primera construcción en la historia que utilizó la gestión de proyectos. Según la definición del Instituto de Gestión de Proyectos (PMI), un proyecto es "un esfuerzo temporal cuyo objetivo es crear un producto o servicio" (2004). La administración de proyectos se utiliza para lograr resultados únicos dentro de los límites de recursos y tiempo disponibles; su aplicación como medio para lograr los objetivos del proyecto ha experimentado un rápido crecimiento en las últimas décadas. Esta proporciona a las empresas herramientas poderosas que mejoran su capacidad para planificar, implementar y controlar actividades, así como la utilización eficiente de personal y recursos.

Los proyectos son complejos y multidisciplinarios, por lo cual requieren que todas las partes se combinen para alcanzar los objetivos principales, también conocidos como objetivos directos. Dichas metas se basan comúnmente en la calidad, el tiempo y el costo del proyecto; y como se explicará más adelante es posible crear una función que relaciona estos objetivos.

El director de proyectos tiene la función principal de gestionar cualquier desequilibrio que pueda surgir entre el objetivo principal y los objetivos secundarios. Además de gestionar estas discrepancias, se espera que el director del proyecto unifique todos los aspectos del proyecto y se asegure de lograr los resultados esperados dentro de las limitaciones de costo, tiempo y calidad establecidas. Su labor consiste en encontrar el equilibrio adecuado y lograr una gestión eficiente que garantice el éxito del proyecto.



EL ÉXITO EN UN PROYECTO Y SUS FACTORES

A medida que se desarrollan los proyectos, se pueden identificar factores asociados al éxito que se clasifican en factores estratégicos, tácticos y operacionales. En el contexto de la construcción el nivel de planificación más crítico es el estratégico ya que marca el inicio de toda la obra. Estos factores se clasifican de la siguiente forma:

Objetivos del proyecto. Estos objetivos deben ser medibles, alcanzables, relevantes y específicos para manejar adecuadamente la ejecución del proyecto. Es fundamental establecer objetivos claramente definidos en el plan del proyecto.

Responsabilidad y apoyo de la alta dirección de la empresa. Los altos directivos deben respaldar el proyecto en todas sus etapas y brindar el apoyo necesario para su desarrollo. El compromiso y liderazgo de los directores garantiza que se asignen los recursos adecuados, se tomen decisiones oportunas y se generen las condiciones propicias para el éxito del proyecto.

Plan de acción del proyecto. Es un programa detallado del proceso que incluye, el plan a implementar y todos los materiales esenciales para el proyecto. Esto implica definir las actividades, recursos necesarios, cronograma de ejecución y entregables esperados.

El éxito o fracaso de un proyecto depende de las partes interesadas involucradas (el cliente, la empresa a cargo, el equipo del proyecto y el público), por lo cual, se espera que el director del proyecto coordine e integre todas las actividades definidas en el plan de acción y así lograr los objetivos trazados.



PROPIEDADES DE UN PROYECTO

Un proyecto debe ser concebido como una entidad independiente, para esto se debe comprender la diferencia entre proyecto, programa, tarea y paquete de trabajo, distinción que se abordará con mayor detalle más adelante. Ahora bien, los proyectos se caracterizan por:

Importancia. Un proyecto debe tener la importancia suficiente para justificar la creación de una unidad organizativa especial fuera de la estructura rutinaria de la empresa.

Rendimiento afectado por un entorno. Un proyecto generalmente es una actividad que se ejecuta una sola vez con una serie de resultados esperados bien definidos, sin embargo, estos pueden verse afectados por las condiciones que rodean el proyecto.

Temporalidad. Tal como su nombre lo indica un proyecto debe tener definida una fecha de finalización o ciclo de vida finito.

Interdependencia. Los proyectos interactúan frecuentemente con otros proyectos que están llevando a cabo simultáneamente por la misma empresa.

Unicidad y Complejidad. Todos los proyectos tienen algo que los hace únicos (hasta cierto punto), ya que los límites y alcances son diferentes en cada proyecto.

Incertidumbre. Los proyectos tienen un presupuesto limitado, tanto para el personal como para los materiales.



CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO

El ciclo de vida se puede definir como un modelo de cuatro etapas. La primera etapa es conceptualización, en esta se plantean las ideas, se recopila información y se estudia la factibilidad de cada propuesta; durante esta fase el director del proyecto aprueba planes “preliminares”. Cabe agregar que en esta etapa se adoptan objetivos básicos, que pueden ser modificados a medida que se avanza en el proyecto. La siguiente etapa se denomina planeación y hace referencia a la programación, definición de presupuesto e incorporación de recursos, que se lleva a cabo de manera minuciosa y detallada con la finalidad de complementar la propuesta inicial. La tercera etapa se conoce como construcción, como su nombre lo indica es la ejecución del proyecto. La última etapa del ciclo es aquella donde la obra ha sido completada y se entrega para su uso; a esta etapa se le nombra, operación y mantenimiento, ya que la construcción con el paso del tiempo va a deteriorarse gradualmente.

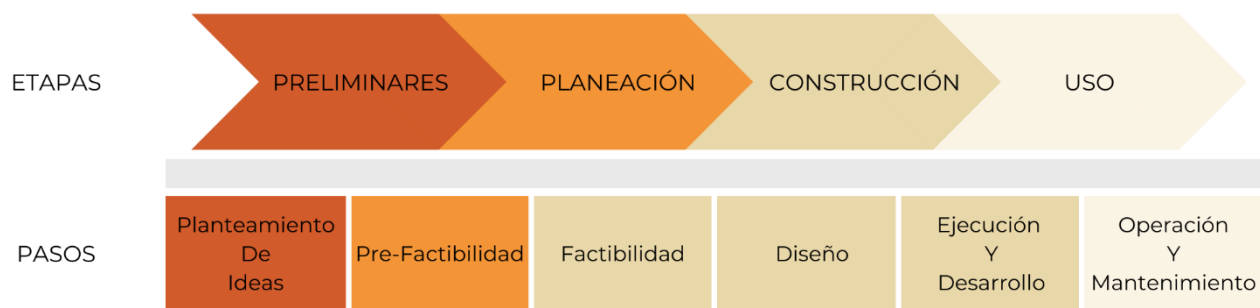


Ilustración 1. Ciclo de vida de un proyecto



PLANEACIÓN DE LAS ACTIVIDADES DE UN PROYECTO

Entre más tiempo se dedique a la planeación de un proyecto, se disminuye el tiempo que se dedicara al replanteamiento o solución de problemas, ya que estos se generan debido a una mala proyección; nótese que se escribió “disminuir” y no “eliminar” pues casi nunca se presenta el caso de que una obra no tenga inconvenientes o retrasos. Sin embargo, mientras una planeación cuidadosa está fuertemente asociada a un proyecto exitoso, el sobre análisis puede incurrir en una parálisis total de un proyecto; asimismo el trabajo de un director de proyectos es alcanzar un equilibrio entre los dos extremos (Langley, 1995)

Hay muchas razones por las que se debe tener demasiado cuidado al planificar un proyecto. El motivo principal de planear es establecer una lista de comandos precisos para dirigir correctamente al equipo del proyecto, es decir, instruir al personal de obra de cómo realizar cada actividad, cuándo está programada a realizarse, qué equipos y recursos se necesitan, y cuándo será necesario cada material.

El alcance de un proyecto implica más que simplemente describir la obra entregada o cumplir con las expectativas del cliente. También implica considerar el tiempo y los costos necesarios para completarlo. Asimismo, el plan del proyecto es una estimación de cómo y cuándo se deben llevar a cabo las actividades para alcanzar los objetivos establecidos. Sin embargo, hay factores externos que pueden generar incertidumbre y afectar el plan. El propósito de la planificación es facilitar el camino a seguir para alcanzar los resultados propuestos.

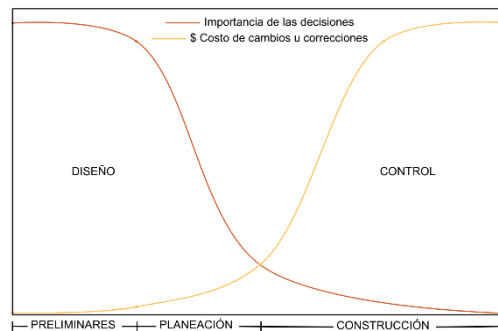


Ilustración 2. Importancia de las decisiones y el costo de hacer cambios

La gestión de un proyecto es un proceso complicado, y el acto de planificar no solo debe tener suficiente detalle para determinar qué se debe hacer, sino que también debe ser fácil de entender para que los trabajadores no se pierdan o se confundan. La planificación de un proyecto incluye una lista de actividades relacionadas con el tiempo, los recursos y el personal necesario para completarlas.

Una forma de visualizar estas actividades en el plan de acción es a través de la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT o WBS por sus siglas en inglés). Generalmente el EDT se basa en una lista de todas las actividades del proyecto, divididas en subactividades que pueden desglosarse aún más de ser conveniente. También muestra la programación, lista de recursos, unidad de medida, cantidades, y otras especificaciones del proyecto. Otra forma de ver la planificación de un proyecto es la matriz de RACI o tabla de responsabilidad lineal, la cual se centra en la distribución de las responsabilidades asociadas con cada actividad.

Para terminar, la gestión de proyectos no es un proceso estático, todo lo contrario, es continuo y cambia constantemente a medida que se identifican nuevos riesgos, mientras los anteriores desaparecen o se mitigan.



LOS COSTOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Los costos de una obra de construcción son aquellos pagos que se efectúan durante la realización del proyecto, entre los cuales se denominan:

Los **costos comerciales** también llamados costos de administración, son los importes dirigidos a la gerencia del proyecto completo tal como los intereses de capital, comisiones y costos asociados.

Los **costos directos** como su nombre lo dice son aquellos relacionados directamente con la construcción, como la compra de materiales, la contratación de mano de obra y la compra o alquiler de equipos (maquinaria o herramienta).

Los **costos generales** son los gastos de sueldos y honorarios de los profesionales que coordinan el proyecto, y compra de maquinaria e instalaciones indispensables para el desarrollo de la obra.

Los **costos Indirectos** son los pagos ineludibles que no están directamente relacionados en el proceso.

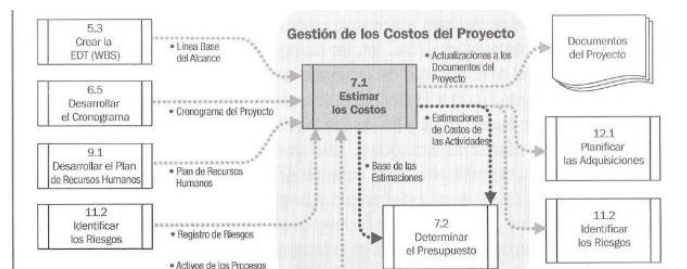


Ilustración 3. Diagrama de Flujo de Datos del proceso Estimar Costos [1]



CLASIFICACIÓN

Existen dos clasificaciones de los costos de construcción: la teoría estructural, que considera el origen y forma del cálculo de estos dentro de la obra; y la teoría comercial, la cual se enfoca en la influencia que produce cada costo en el presupuesto.

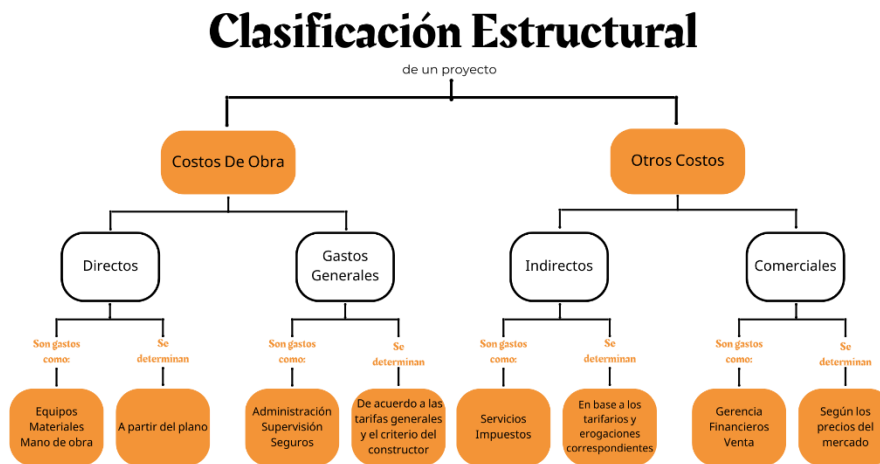


Ilustración 4. Clasificación estructural de costos

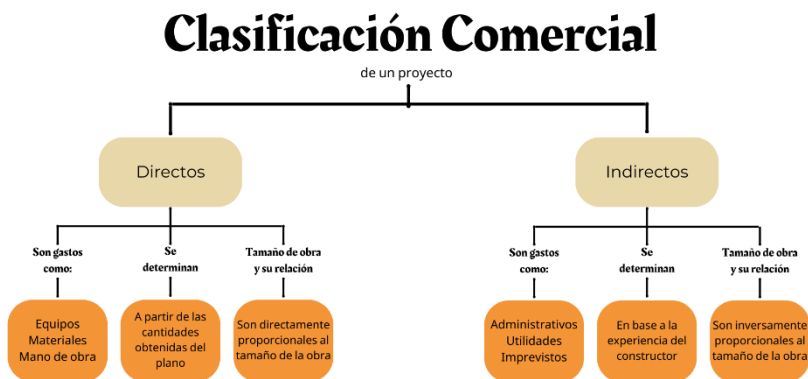


Ilustración 5. Clasificación comercial de costos



PUNTO DE EQUILIBRIO.

En la construcción un punto de equilibrio dado entre la calidad, el costo y el tiempo engrandece de forma favorable tanto al constructor como a la obra, ya que cumplir con estas tres variables y llegar a un objetivo de forma correcta genera confianza a compradores y en tal caso a nuevos proyectos.

El punto de equilibrio en un proyecto se logra cuando se cumplen tres características: tiempo determinado en el cual este debe completarse (fecha límite), asignación de presupuesto utilizando la menor cantidad de recursos posibles (presupuesto límite), y calidad requerida. El director debe procurar que el proyecto sea terminado lo antes posible, sin exceder algún nivel específico de uso de recursos o alguna restricción general de recursos. No obstante, lo crítico es el tiempo, no el uso de recursos.

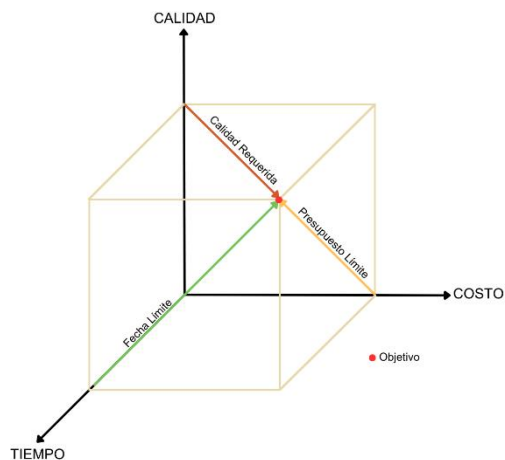


Ilustración 6. Marco limitante de un proyecto [2]



EL PRESUPUESTO DE CONSTRUCCIÓN

El presupuesto de un proyecto tiene como objetivo asignar los recursos de un proyecto al establecer la composición cualitativa y cuantitativa de una obra, lo anterior se logra al realizar tres análisis: el análisis geométrico que estudia las actividades y su evaluación unitaria; el análisis estratégico, el cual define la ejecución, administración y coordinación; y el análisis del entorno que define los costos impuestos por el gobierno o requerimientos del mercado.

La mayoría de los directores se esfuerzan en el proceso de designación de presupuesto, es decir, procuran financiar correctamente cada actividad planeada; esto con el fin de que no se produzcan desperdicios causados por el sobrefinanciamiento, ni se comprometa o frustre el proyecto debido al subfinanciamiento. Lo anterior quiere decir que la prioridad primordial es obtener recursos con los que realizar el trabajo.

El presupuesto no es solo una parte de un programa, tampoco es una política de organización, es un mecanismo de control que sirve como estándar para medir la diferencia entre los recursos utilizados en la planeación y la construcción. Para elaborar un presupuesto se debe prever los materiales y equipos a utilizar para el proyecto, es preciso definir la cantidad y el costo cada uno. A pesar de que existen programas para hacer tales estimaciones, la incertidumbre y porcentaje de error es considerablemente alto.

El flujo de recursos en el tiempo es fundamental en la gestión de costos del proyecto, ya que permite visualizar en una gráfica los tiempos y la cantidad de recursos que se deben invertir en cada etapa de la obra; la asignación de fondos y su temporalidad dependen en gran medida de



la actividad y la disponibilidad de mano de obra para el trabajo. Por tanto, se infiere que el flujo de egresos se crea en base al presupuesto definido y no viceversa.

El presupuesto juega un rol importante en todo el proceso de gestión. Si los fondos no se relacionan con los insumos y las metas del proyecto, el proceso de planeación y control se vuelve inútil. Lo anterior no quiere decir que no exista una excepción, si se considera que el presupuesto no está vinculado a los logros, el director del proyecto puede ignorar el gasto parcial o total de bienes antes de lograr los objetivos, siempre y cuando se alcancen las metas propuestas a lo largo del programa.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDADES	VALOR UNITARIO	SUBTOTAL ESTIMADO
1	ACTIVIDADES PRELIMINARES				\$ 3,989,852.24
1.1	Descapote y Limpieza	m ²	72	\$ 16,789.92	\$ 1,208,874.47
1.2	Localización y replanteo	m ²	72	\$ 11,128.81	\$ 801,274.12
1.3	Cerramiento provisional en poliombra de 2m de altura	mL	36	\$ 5,937.95	\$ 213,766.29
1.4	Campamento de obra O Caseta	Glb	1	\$ 707,217.36	\$ 707,217.36
1.5	Instalación provisional de agua	Glb	1	\$ 203,284.75	\$ 203,284.75
1.6	Instalación provisional de luz	Glb	1	\$ 596,074.15	\$ 596,074.15
1.7	Señalización de obra	Glb	1	\$ 259,361.10	\$ 259,361.10
2	CIMENTACIÓN				\$ 17,338,140.30
2.1	Excavación manual en material común, incluye cargue y retiro	m ³	64.29	\$ 37,679.48	\$ 2,422,413.74
2.2	Excavación con máquina en material común, incluye cargue y retiro	m ³	73.06	\$ 8,270.53	\$ 604,244.99
2.3	Relleno con rebase común compactación mecánica	m ³	22.92	\$ 78,326.33	\$ 1,795,239.39
2.4	Construcción de zapatas concreto 28Mpa (e=50 cm)	m ³	6.78	\$ 666,561.12	\$ 4,519,284.40
2.5	Construcción de vigas de cimentación concreto 28Mpa (30x30 cm)	m ³	2.9	\$ 1,688,134.77	\$ 4,895,590.84
2.6	Construcción de placa de contrapiso 21 Mpa (e=20 cm)	m ²	14.21	\$ 218,252.42	\$ 3,101,366.94
3	ESTRUCTURA				\$ 37,229,565.27
3.1	Construcción de columnas en concreto 21 Mpa (80x20 cm)	m ³	16.2	\$ 286,681.41	\$ 4,644,238.92
3.2	Construcción de vigas aéreas 21Mpa (30x50 cm)	m ³	38.58	\$ 240,593.98	\$ 9,282,115.89
3.3	Construcción de viguetas (10x50 cm)	m ³	16.88	\$ 218,122.41	\$ 3,681,906.29
3.4	Construcción de losa de entrepiso (e=20 cm)	m ³	55.76	\$ 158,122.09	\$ 8,816,887.95
3.5	Construcción de escaleras	m ³	4.79	\$ 2,255,619.25	\$ 10,804,416.23
4	INSTALACIONES HIDRAULICAS Y SANITARIAS				\$ 37,410,925.02
4.1	Suministro e instalación de puntos sanitarios inodoro	un	7	\$ 185,578.91	\$ 1,299,052.37
4.2	Suministro e instalación de puntos sanitarios ducha	un	7	\$ 160,144.11	\$ 1,121,008.77
4.3	Suministro e instalación de puntos sanitarios lavamanos	un	7	\$ 141,374.71	\$ 989,622.97
4.4	Suministro e instalación de puntos sanitarios sifon	un	15	\$ 154,019.88	\$ 2,310,298.16
4.5	Suministro e instalación de puntos sanitarios lavaplatos	un	4	\$ 206,415.03	\$ 825,660.10
4.6	Suministro e instalación de puntos sanitarios lavadora	un	4	\$ 142,434.13	\$ 569,736.50
4.7	Suministro e instalación de puntos sanitarios lavadero	un	4	\$ 208,149.03	\$ 832,596.10
4.8	Construcción de caja de inspección (0.6x0.6 m)	un	1	\$ 503,379.93	\$ 503,379.93
4.9	Suministro e instalación de tanque de 500 L	un	1	\$ 693,006.05	\$ 693,006.05

Tabla 1. Ejemplo de presupuesto



CARACTERÍSTICAS DEL PRESUPUESTO

Las principales características que se deben tomar en cuenta al desarrollar un presupuesto son sus alcances y limitaciones, ya que ningún proyecto tiene recursos económicos infinitos y la financiación que se destina a una obra depende de su magnitud.

Además, el presupuesto es aproximado, si bien sus estimaciones se acercan al costo real de la obra, nunca es exactamente el valor calculado pues esto depende de la habilidad, el uso adecuado de técnicas presupuestales, el criterio y la visualización correcta del desarrollo de la obra por parte del presupuestador.

El presupuesto es temporal, ya que los costos establecidos de base no son válidos a lo largo del tiempo, sino que por lo contrario son cambiantes pues están sujetos a la inflación, disponibilidad de materiales, demanda y demás actores del mercado.

Por último, el presupuesto es una herramienta de control que se utiliza durante el desarrollo de todo el proyecto, no solo es una estimación financiera; la relación entre la ejecución económica de la obra y la ejecución volumétrica de la misma debe ser equiparable a la proyectada a partir de los planos y cálculos realizados en la etapa de planeación.



ETAPAS DE LA CONSTRUCCIÓN DE UN PRESUPUESTO

Un proyecto se divide en las siguientes etapas:

El análisis de planos y especificaciones de la obra es la primera fase de un proyecto, esta se lleva a cabo por medio de un estudio detallado (de todos componentes de la construcción) y proporciona una comprensión completa de los requisitos, alcances y propiedades del diseño.

La siguiente etapa es la definición de actividades, en este punto es donde se identifican las labores necesarias para desarrollar el proyecto al desglosar el trabajo en tareas específicas y determinar la secuencia lógica en la que deben realizarse.

La elaboración de análisis unitario (o APU) es la etapa donde se realiza un análisis detallado de cada actividad individual al descomponer los elementos del proyecto en unidades más pequeñas para una evaluación de los recursos necesarios, costos y tiempos requeridos.

En la cuarta fase conocida como creación de guías de lecturas de planos se desarrollan guías detalladas con el fin de facilitar la interpretación de los planos por parte de los equipos de trabajo y brindar la información necesaria para entender las tareas a ejecutar.

Finalmente, se realiza el cómputo de cantidades mediante la cuantificación precisa de los materiales, recursos y costos asociados con cada paquete de trabajo con el objetivo de completar la construcción del presupuesto.



CURVA S

La curva S es la representación gráfica del progreso del proyecto a lo largo del tiempo, es decir, muestra cómo el proyecto avanza. En el eje horizontal de la gráfica se representa el tiempo y en el eje vertical se representa el progreso del proyecto; cabe mencionar que el progreso puede estar en términos de porcentaje, trabajo o cualquier medida que se crea relevante. Adicionalmente, el gestionar recursos, identificar posibles retrasos, e incluso influir en la toma de decisiones, son unos de los beneficios que brinda esta gráfica a los directores de proyectos.

Los puntos claves son: al inicio del proyecto, donde su progreso es lento y mínimo; el punto de inflexión, en el cual se ve la aceleración y avance de la obra, generalmente es el momento en que se comienzan las actividades de construcción; y al final del proyecto, que es cuando el progreso disminuye debido a que se completan las actividades finales. Por el contrario, algunos proyectos son casos atípicos de la curva S y su progreso es parecido al de la curva exponencial; inicialmente el progreso es lento, pero a medida que la obra avanza se acelera el avance hasta su culminación.

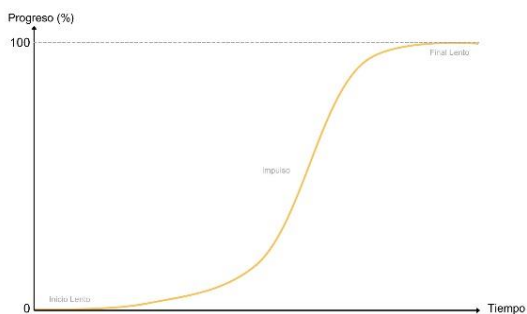


Ilustración 7. Curva S común [3]

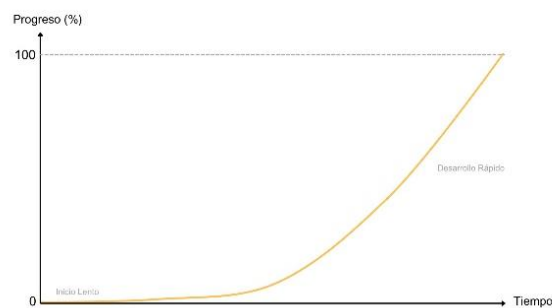


Ilustración 8. Curva S inusual [3]



PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN

ESTRUCTURA DE DESGLOSE DE TRABAJO (EDT)

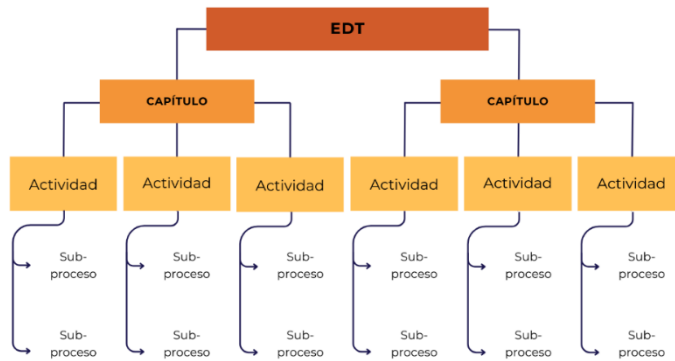


Ilustración 9. Estructura de desglose de trabajo

Para desarrollar cualquier proyecto, se deben emprender y completar un número de actividades primordiales. En general, la EDT es una herramienta fundamental de planeación, y puede ajustarse según las necesidades específicas de cada proyecto. En otras palabras, es un método para construir un plan de acción por medio de un proceso de planeación por niveles o en orden jerárquico.

La EDT ilustra cómo cada actividad contribuye al proyecto en rendimiento, responsabilidad, presupuesto y cronograma; un ejemplo de visualización es el programa Microsoft Project y como muestra la duración de las actividades como un diagrama de Gantt. Conviene subrayar que la EDT en ningún caso se va a adaptar a todas las necesidades que tiene un proyecto, pues esta no es un documento sino es simplemente uno de los muchos documentos.

Los **capítulos** no tienen unidad de medida porque no son componentes reales, estos se utilizan ya que tienen la capacidad de organizar y presentar de manera eficiente los datos e



información del presupuesto del proyecto.

Una **actividad** es el elemento en el que se descompone una parte del proceso necesaria para construir la obra y esta debe tener un nombre, las especificaciones de la construcción, la unidad de medida y el tiempo de ejecución.

COD	ACTIVIDADES
1	CAPÍTULO
1.1	Actividad
1.2	Actividad
1.4	Actividad
2	CAPÍTULO
2.1	Actividad
2.2	Actividad
2.2.1	<i>Subproceso</i>
2.3	Actividad
2.3.2	<i>Subproceso</i>

Ilustración 10. EDT en tabla

El primer paso para construir una EDT hacer una lista de fases (capítulos) en el orden que deben ejecutarse, eso sería el nivel 1; el siguiente paso es descomponer cada capítulo en las actividades, pueden ser 2 o 20; después, se dividen las actividades en subactividades de ser necesarias y así sucesivamente hasta donde se requiera. Dicho brevemente, una EDT consiste en listar el desglose de tareas en niveles más detallados sucesivamente.

Cada proceso puede tener las actividades que el analista considere precisas, sin embargo, es importante plantear la representatividad y universalidad de la actividad que se está definiendo. Pues si bien las actividades que precisa cada analista pueden ser diferentes, se recomienda que estas sean lo más fundamental posible y que todos los elementos de la lista tengan el mismo nivel de generalidad.



PROGRAMACIÓN O CRONOGRAMA DEL PROYECTO

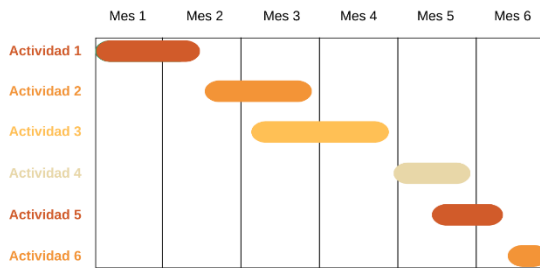


Ilustración 11. Programación o cronograma de un proyecto

La programación es la conversión del plan de acción del proyecto en un cronograma operativo, lo cual sirve como base para controlar el avance del proyecto; en el caso de enlazar la programación con el plan y el presupuesto, es probable que esta se convierta en la principal herramienta de la gestión de proyectos. El cronograma se utiliza como herramienta de seguimiento, gestor de costos y anticipador de posibles problemas en la obra, esto al permitir evaluar los avances realizados y si se están cumpliendo los tiempos definidos inicialmente; en las construcciones donde los tiempos establecidos inicialmente no se alcanzan los directores deben realizar los ajustes que sean necesario para garantizar la entrega de la obra en su totalidad y sin retrasos

En la elaboración del cronograma de un proyecto se realiza un análisis en base de la EDT establecida para definir: las actividades que tienen relaciones de dependencia entre capítulos y niveles, la asignación eficiente de recursos y la estimación de los plazos de ejecución. Uno de los propósitos de la programación es coordinar las cuadrillas de trabajo de manera efectiva; además, al establecer un calendario realista y detallado de la obra el director adquiere una visión clara de las fechas límite y los periodos de tiempo definidos para realizar cada actividad.



MÉTODOS DE PLANEACIÓN Y CONTROL

Métodos determinísticos

Los métodos determinísticos es un proceso en el que cada tarea está completamente definida por condiciones específicas y predecibles. En otras palabras, siempre que se tenga la misma información inicial y siga las mismas instrucciones (no exista aleatoriedad en el proceso), cada actividad tendrá una sola duración ya que todo es predecible y repetible.

Diagrama de Gantt.

El diagrama de Gantt fue inventado como una ayuda para plasmar la programación de un proyecto. En esencia, las actividades de un proyecto se representan en un diagrama de barras donde la duración del proyecto se expresa proporcionalmente de acuerdo con la longitud de las barras; además, las barras de actividades pueden estar conectadas a las actividades predecesoras y sucesoras con flechas. Indiscutiblemente el diagrama de Gantt es un método práctico para visualizar el progreso de un proyecto, empero, es un enfoque incómodo para planear.

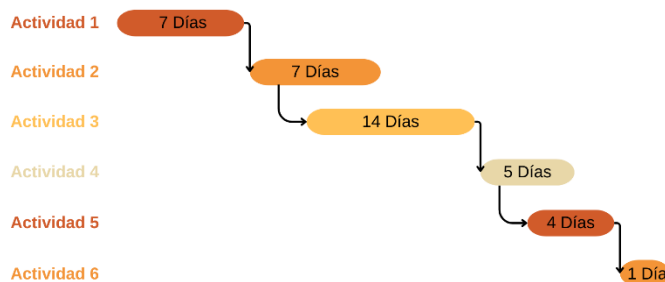


Ilustración 12. Diagrama de Gantt

EJEMPLO GANTT:

Teniendo la siguiente información se espera plantear la duración de un proyecto el cual inicia en enero del 2024, usando el diagrama de Gantt determine cuantos meses durará el proyecto.

Actividad	Duración (Semanas)	Predecesor
A	3	-
B	2	-
C	4	A
D	3	A
E	6	B
F	2	E
G	5	C, E
H	1	F
I	3	G

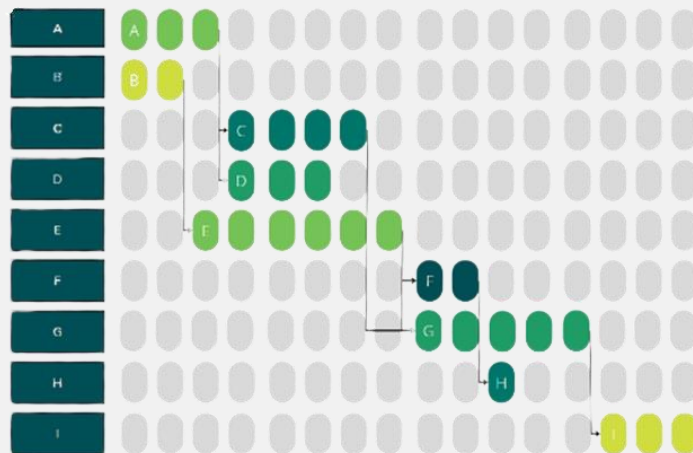
Paso 1. Identificar las actividades que no dependen de ninguna otra actividad, estas actividades marcan el inicio del diagrama, para este caso las principales son A y B.

Paso 2. Asignar barras proporcionales a la duración de cada una de estas actividades.



Paso 3. Asignar las actividades que dependen de otras frente a las actividades iniciales, siguiendo el orden y la duración especificada por sus predecesores, por ejemplos en el caso de C y D ya que tienen como predecesora a A se debe empezar con la asignación 3 barras después del inicio, y en E que depende de B se debe dar inicio 2 barras después de origen.

Paso 4. Por último en el caso en el que se tenga más de una predecesor se debe empezar la asignación de barras sobre el fin de la actividad que esté más próxima al final, sin dejar atrás la importancia de que depende de dos actividades, pues sin ejecutar estas no se puede continuar con su sucesora, como el caso de G que tiene como predecesoras a C y E, sin embargo, E llega a la octava casilla y C llega hasta la séptima, por lo tanto la asignación de casillas para G da inicio al finalizar la actividad E.



Paso 5. Para el ejercicio propuesto se quiere saber cuántos meses durara el proyecto, por lo tanto, en amarillo se observa la ruta crítica, concluyendo que si se toma cada una de las actividades que hacen parte de esta y se suman las duraciones se obtiene como resultado la duración del proyecto, siendo esta de 16 semanas lo cual equivale a aproximadamente 4 meses.





Diagrama de flechas (AOA)

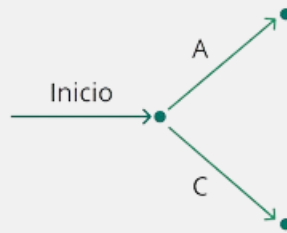
El diagrama de flechas o AOA (en inglés Activity On Arrow) es una de las metodologías para planear actividades, mientras contribuye a la gestión eficiente del tiempo en el desarrollo del proyecto. Su objetivo principal es presentar por medio de una gráfica la secuencia que debe llevar una serie de actividades y su duración, de tal manera que se pueda establecer el tiempo que toma finalizar el proyecto. La ventaja del diagrama de flechas es que facilita la comprensión de la secuencia temporal y su desventaja es que no proporciona una visualización adecuada de la ruta crítica en comparación con otras herramientas de planificación.

EJEMPLO AOA:

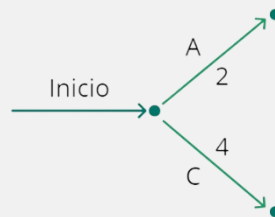
Teniendo en cuenta la siguiente tabla determine cuánto durará el proyecto:

Actividad	Duración (Meses)	Predecesor
A	2	-
B	3	A, C
C	4	-
D	1	C

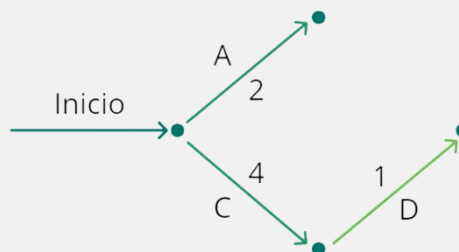
Paso 1. Como en el diagrama de Gantt se deben definir las actividades que dan inicio al proyecto, sin embargo, en este caso para proporcionar más orden se crea una actividad llamada inicio determinada por una flecha que llega al nodo de donde surgen las actividades principales y al terminar una flecha llamada fin. En este caso aquellas actividades que siguen a la actividad de inicio son A y C.



Paso 2. Luego de esto a cada actividad se le asigna su duración de forma numérica, esto con el fin de facilitar la obtención de la duración del proyecto. Como se ve en la imagen se asignó a A el valor de dos y a C como en la tabla se indica cuatro.



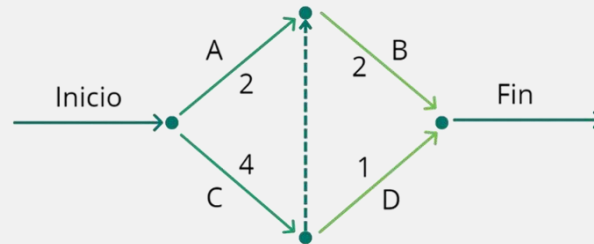
Paso 3. Siguiendo este orden se asignan las actividades luego de sus predecesores uniéndolos con flechas evitando cruzarlas. En este caso se unen las actividades D y C.



Paso 4. Por último, para los casos en los que una actividad sea predecesora de dos o más actividades y una de estas actividades tenga 2 predecesoras se deben crear actividades ficticias, estas son representadas por una flecha en trazo punteado que se da como representación de la predecesora que se repite.

Sin embargo, en un diagrama de flechas deben evitarse en su mayoría las actividades ficticias.

Para este caso la actividad que es representada como ficticia al tener dos flechas es C



Paso 5. Para dar solución al ejemplo se deben sumar las actividades que tengan predecesoras con sus predecesoras para así determinar la duración del proyecto.

En este caso se sumarán A con B, C con B y C con D, qué son las actividades que tienen una dependencia una de la otra, en el caso en que sean más actividades antes del fin también deben ser sumadas.

$$A \text{ con } B = 2 + 2 = 4 \text{ meses}$$

$$C \text{ con } B = 4 + 2 = 6 \text{ meses}$$

$$C \text{ con } D = 4 + 1 = 5 \text{ meses}$$

Ruta	Duración (Meses)	¿Crítica?
A-B	4	NO
C-B	6	SI
C-D	5	NO

El proyecto durará 6 meses y la ruta de C a B será la más crítica, tal y como se puede observar en los cálculos realizados a lo largo del desarrollo del ejercicio.



Diagrama de nodos (AON)

El diagrama de nodos (Activity On Node, AON), se utiliza para representar sistemas complejos de una manera sencilla, donde los nodos representan las actividades del proyecto y las líneas conectan los nodos de tal forma que se identifique la secuencia entre actividades. Al igual que el AOA, este diagrama determina la ruta crítica con el fin de mejorar la gestión de la obra y alcanzar los objetivos propuestos.

RECOMENDACIÓN. Si múltiples actividades no tienen sucesores, lo mejor es crear un nodo “FIN” para conectarlas.

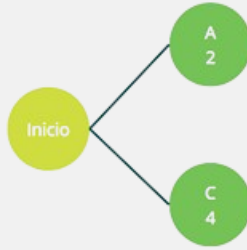
EJEMPLO AON:

Teniendo en cuenta la siguiente tabla determine cuánto durará el proyecto:

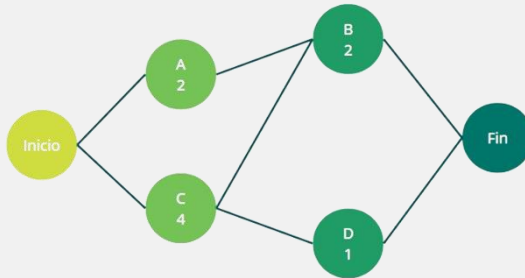
Actividad	Duración (Meses)	Predecesor
A	2	-
B	3	A, C
C	4	-
D	1	C

Con el fin de notar con facilidad la diferencia entre estos dos últimos diagramas se realizará el mismo ejemplo.

Paso 1. Al igual que en el diagrama de flechas se creará una actividad llamada inicio sin embargo las actividades serán nombradas en los nodos y su numeración de igual forma.



Paso 2. Luego de asignar las actividades principales se da continuidad a sus sucesoras, uniéndolo con una línea todas las actividades con sus respectivas predecesoras, y se finaliza al igual que en el diagrama de fechas con una actividad llamada fin.



Paso 3. Para culminar el ejercicio se determina la duración del proyecto sumando las duraciones de cada actividad siguiendo los caminos que representa cada una de las uniones entre nodos. Esta duración será de 6 meses, la misma que se halló en el AOA.

Paso 3. Para culminar el ejercicio se determina la duración del proyecto sumando las duraciones de cada actividad siguiendo los caminos que representa cada una de las uniones entre nodos. de este modo los resultados son los siguientes:

Ruta	Duración (Meses)	¿Crítica?
A-B	4	NO
C-B	6	SI
C-D	5	NO

Como es de notar las duraciones se mantienen y siendo así el proyecto durará 6 meses.



Método de la ruta crítica (CPM)

El método de la ruta crítica (Critical Path Method, CPM) se origina en el mismo periodo de tiempo que el diagrama de PERT, en la compañía norteamericana DuPont Inc. El CPM fue diseñado para proyectos de construcción, por lo desde un inicio fue aplicado en dicha industria. Se debe agregar que este organigrama estima el tiempo de duración de una actividad utilizando la determinista, no obstante, este proceso se puede hacer utilizando la probabilidad. La ruta crítica que determina este método tiene actividades críticas, que no pueden retrasarse, y actividades con holgura, pueden demorarse un poco sin afectar la duración del proyecto.

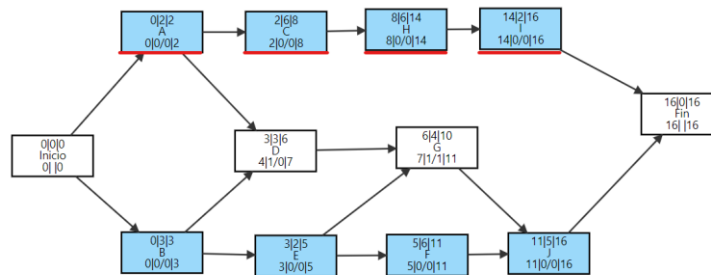
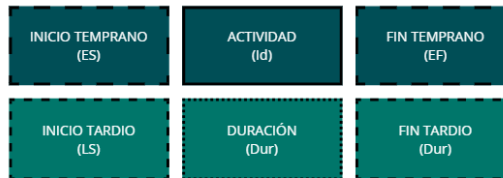


Ilustración 13. Diagrama CPM

Dentro del Método de la Ruta Crítica, se identifican elementos que indican la asignación numérica necesaria para determinar la ruta crítica y las posibles demoras en los proyectos. Estos elementos son:

Tiempos tempranos: representa el paso adelante de cada una de las actividades, en el caso en el que una actividad tenga dos o más predecesoras el valor tomado en este paso adelante será el mayor de estas, el inicio temprano también puede ser llamado paso adelante.



HOLGURA TOTAL (HT) / HOLGURA LIBRE (HL)

Ilustración 14. Elementos de la ruta crítica

Tiempos tardíos: este representa el paso hacia atrás de las actividades, para este caso las actividades dependen de las sucesoras, cuando una actividad tenga más de una sucesora tomará como paso atrás el menor.

Holgura total: Con esta holgura se determina la ruta crítica siendo esta la que da un valor de cero de forma consecutiva.

Holgura libre: con la holgura libre se busca determinar qué tanto se permite mover una actividad sin afectar a la siguiente

La asignación de cada una de estas variables se da de la siguiente manera, teniendo en cuenta que la Holgura Libre da siempre 0 a menos de que se tenga dependencia de 2 sucesoras, en ese caso se restará la que tenga menor valor.

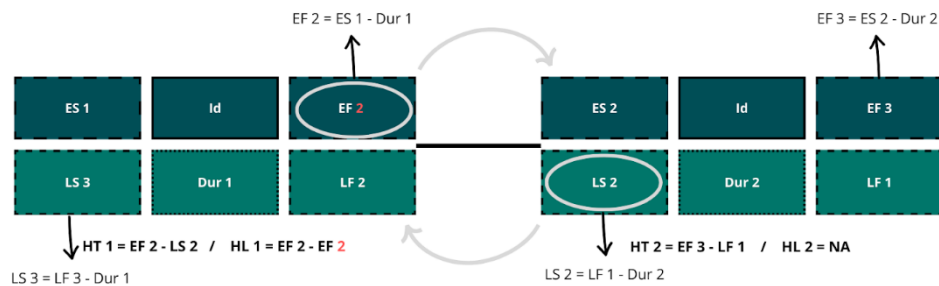


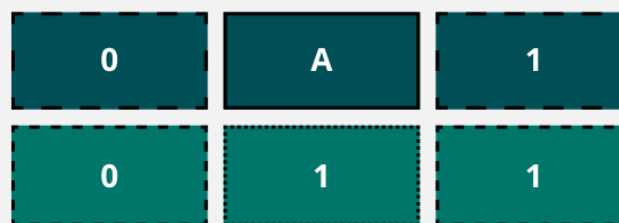
Ilustración 15. Descripción de las fórmulas de tiempo y holgura

EJEMPLO:

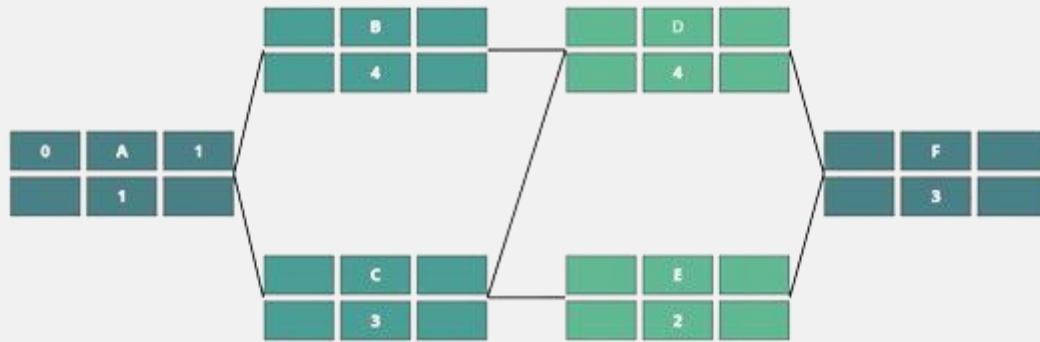
Teniendo la siguiente tabla determine por CPM la ruta crítica y los tiempos que se puede tardar cada actividad como máximo sin afectar a la siguiente.

Actividad	Duración (Semanas)	Predecesor
A	1	-
B	4	A
C	3	A
D	4	B, C
E	2	C
F	3	D, E

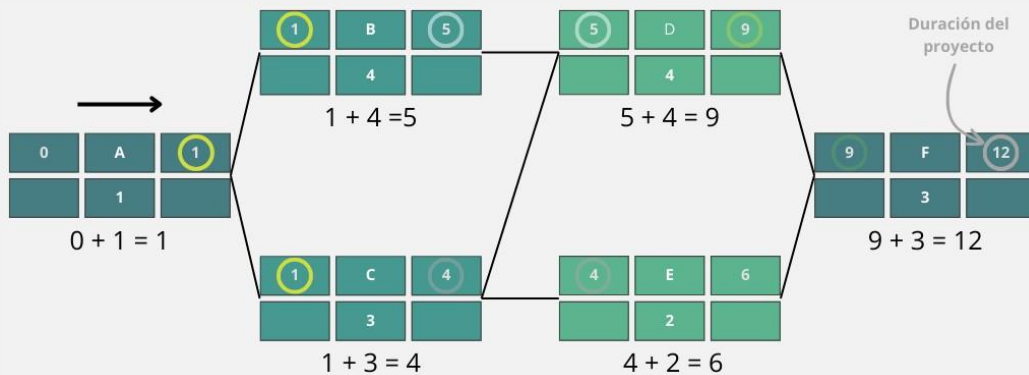
Paso 1. En un inicio, como en los anteriores diagramas, se observa cuáles son las actividades que dan inicio al proyecto, en este caso la actividad principal es A. Para este punto los valores de holgura libre y holgura total no tienen significado, pues notando que aún no se tiene una predecesora no es posible encontrar un valor preciso para las dos. El valor tomado como paso adelante es 0 y el valor tomado como paso atrás en 1, ya que al ser la actividad de inicio no hay forma de tener otro valor diferente al de la duración de la actividad.



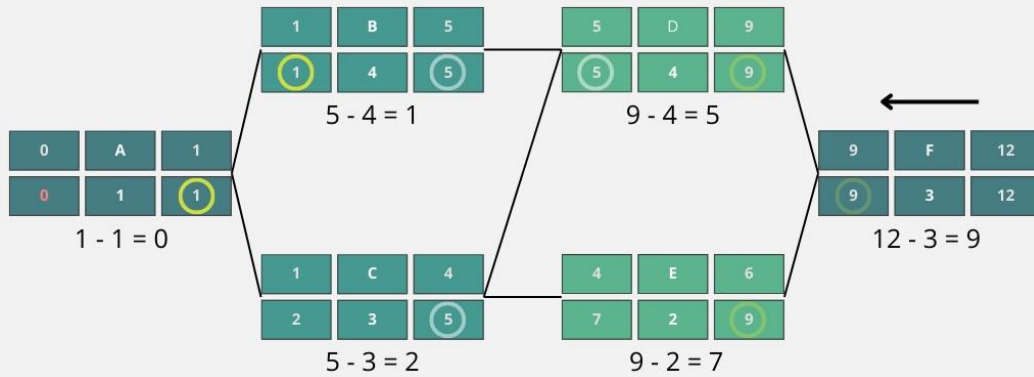
Paso 2. Como segundo paso se toman aquellas actividades que tengan como predecesora a A y se escriben de la siguiente forma, tomando la duración de A como paso adelante. Sin embargo, para dar mayor facilidad y entendimiento al ejercicio se presentarán primero las actividades unidas con sus respectivas predecesoras.



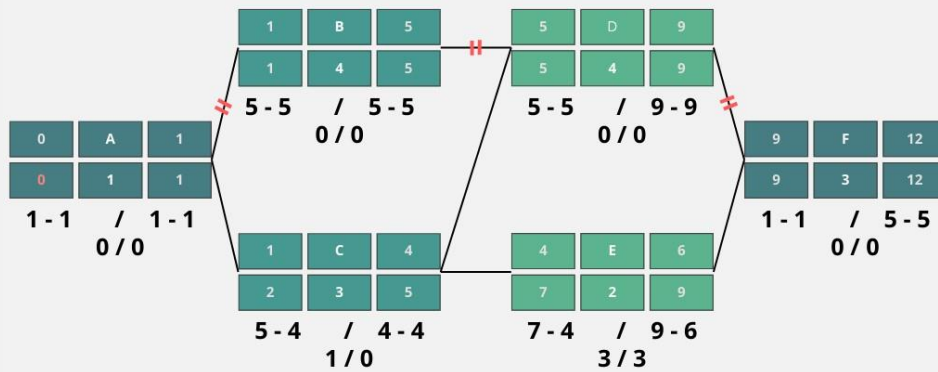
Paso 3. Para cada una de las actividades se hace el respectivo cálculo de pasos adelante y fin temprano, en el caso de D y F, al depender de 2 actividades como predecesoras, se debe tomar el número más alto entre las mismas, siendo un ejemplo D se tiene para dar el paso adelante con C que ya ocupó 4 semanas y B que ya ocupó 5 semanas. Por lo tanto, se asigna como paso adelante las 5 semanas de B.



Paso 4. Luego de tener todos los tiempos tempranos lo que sigue es volver desde la actividad final para hallar los tiempos tardíos iniciando desde la semana 12 que también se presenta la duración total del proyecto. Para las actividades que tengan como sucesoras a más de 2 actividades deben tomarse como paso atrás el menor valor dado por las mismas, en este caso se da el ejemplo de la actividad C que tiene 2 sucesoras una con un valor de 5 para D y 7 para E, por lo tanto, se toma el 5 como paso atrás de la actividad C. (Como observación se debe asegurar que la actividad inicial tenga como tiempo inicio tardío un valor de 0, este se ve señalado en rojo en la figura)



Paso 5. Para se deben hallar las holguras y deducir la representación de cada una de estas. Para cualquier caso se recomienda iniciar con la holgura total, ya que esta define la ruta crítica, luego de definir la ruta crítica se señala con doble línea perpendicular a las líneas que unen cada actividad. Por último, se hallan todas las holguras libres.



La ruta crítica se caracteriza por tener holguras totales igual a cero. En cuanto a los tiempos máximos que pueden durar las actividades, se observa que ninguna, excepto la actividad E, cuenta con tiempo libre adicional, la actividad E, con una holgura de 3 semanas, tiene margen suficiente para finalizar sin afectar el inicio de la siguiente actividad.



Método Probabilístico

Los métodos probabilísticos son enfoques que tienen un grado de aleatoriedad en la generación de resultados; que, a diferencia de los métodos deterministas, los métodos probabilísticos pueden producir diferentes resultados en diferentes ejecuciones debido a la naturaleza estocástica de ciertos procesos, incluso si las entradas son las mismas. Es decir, dependiendo de las actividades a realizar se puede obtener una o más duraciones límite de un proyecto.

Metodología de PERT

El diagrama PERT (Program Evaluation and Review Technique), cuyas siglas en inglés se traducen como "técnica de revisión y evaluación de programas", fue desarrollado en 1958 por la Marina de los Estados Unidos en colaboración con Lockheed Missile Systems y la consultora Booz, Allen & Hamilton. En sus inicios, este método fue concebido y empleado en proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D) relacionados con submarinos atómicos armados.

El enfoque del PERT radica en calcular la duración de las actividades mediante la aplicación de la lógica probabilística. No obstante, es importante destacar que este diagrama a menudo tiende a subestimar la duración real de los proyectos, lo que ha llevado a una disminución en su uso en la actualidad (Ahuja et al., 1995). Además, es relevante mencionar que esta técnica permite identificar la ruta crítica del proyecto y evaluar la holgura de cada actividad.



Distribución beta aplicada en el método PERT.

Incluso con los mejores expertos trabajando en la estimación del tiempo, la única certeza que tiene el director es que no todo va a ir como se planificó, por esto se recomienda manejar los riesgos asociados al utilizar el modelo probabilístico de la metodología PERT.

La estimación de tiempo es definir cuánto se tarda una actividad en completarse, específicamente para este propósito se utiliza la distribución beta, ya que es un buen modelo para ajustar la dispersión de tal variable aleatoria (el tiempo); lo que se pretende es calcular un valor de duración esperada por medio de distribución estadística. Entonces, el planificador determina tres duraciones: la más probable, la optimista y la pesimista, y aplica la siguiente fórmula.

$$\bar{D} = \frac{D_{optimista} + 4D_{MP} + D_{pesimista}}{6} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde " $D_{optimista}$ " representa la duración optimista, " D_{MP} " la duración más probable y " $D_{pesimista}$ " la duración pesimista y μ representa la duración estimada de la actividad.

Luego se calcula la desviación estándar y la varianza desviación estándar, que están dadas por las siguientes ecuaciones respectivamente.

$$\sigma_{Actividad} = \frac{D_{optimista} - D_{pesimista}}{6} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Varianza} = \sigma_{Actividad}^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde " $\sigma_{Actividad}$ " representa la desviación estándar de cada actividad, y Varianza es la varianza de cada actividad



Luego de hallar la duración estimada, desviación y varianza de cada actividad se halla la desviación estándar del proyecto, la cual corresponde a la suma de las desviaciones de las actividades que hacen parte de la ruta crítica del proyecto.

$$\bar{\sigma}_{D_{proyecto}} = \sqrt{\sum \sigma_{Ruta\ crítica}^2} \quad \text{Ecuación 4}$$

De ser necesario es posible determinar la probabilidad de completar el proyecto a tiempo (D) al despejar la siguiente expresión. Cabe agregar que si se busca la cantidad de días que se demora un proyecto en ser completado si se desea cierto porcentaje de certeza, el proceso se puede resolver hacia atrás.

$$Z = \frac{D_x - \bar{D}_{proyecto}}{\bar{\sigma}_{D. proyecto}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Luego de obtener el valor de Z se ingresa a las siguientes tablas.

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
-2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
-2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
-2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
-2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
-2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
-1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
-1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
-1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
-1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
-1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
-1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
-1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
-1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985

-1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
-1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
-0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
-0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
-0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
-0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
-0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
-0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
-0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
-0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
-0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641

Tabla 2. Probabilidades de la distribución normal estándar negativa

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9916
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9987	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990

Tabla 3. Probabilidades de la distribución normal estándar

Este método también se puede aplicar en el presupuesto para realizar en las estimaciones de precios

EJEMPLO:

Un ingeniero recién graduado de la UIS desea calcular la duración de un proyecto en la empresa FOREROYAMAYA, para esto sus jefes le presentan el proyecto que consta de 7 actividades en las cuales se presenta por cada una sus respectivas duraciones más probable, duraciones optimistas y duraciones pesimistas.

Actividad	Predecesora	D _{Optimista}	D _{MP}	D _{pesimista}
A	-	2	3	5
B	-	3	4	7
C	A	1	2	3
D	A	5	5	6
E	B, C	3	5	6
F	D, E	4	5	8
G	F	1	2	3

Luego de una hora de arduo trabajo sus jefes desean saber:

1. ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto dure 18 semanas?
2. ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto dure 15 semanas?
3. ¿Qué duración debe tener el proyecto para mantener una probabilidad del 89.07%?

SOLUCIÓN:

Paso 1. En un inicio se deben saber cuáles son las duraciones estimadas de las 7 actividades, para esto se usa la Ecuación 1.

$$\bar{D} = \frac{2 + (4 \times 3) + 5}{6} = 3.16 \text{ Semanas}$$

Actividad	Predecesora	D _{Opt}	D _{MP}	D _{pesimista}	\bar{D}
A	-	2	3	5	3.167
B	-	3	4	7	4.333
C	A	1	2	3	2.000
D	A	5	5	6	5.167
E	B, C	3	5	6	4.833
F	D, E	4	5	8	5.333
G	F	1	2	3	2.000

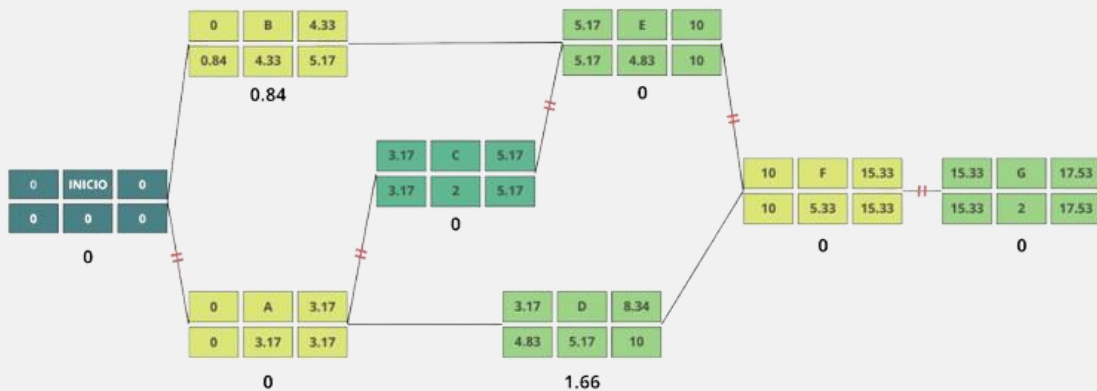
Paso 2. Luego de tener las duraciones se pueden tomar dos caminos, el primero y el más largo es hallar desviación estándar y varianza de cada una de las actividades, para luego hallar la ruta crítica con alguno de los diagramas de los métodos determinísticos, el segundo es hallar la ruta crítica y teniendo la ruta crítica hacer los cálculos de desviación estándar y varianza solo en las actividades que hagan parte de la ruta crítica. En este caso se tomará el primer camino usando las ecuaciones 2 y 3.

$$\sigma_{Actividad} = \frac{5 - 2}{6} = 0.5$$

$$Varianza = 0.5^2 = 0.25$$

Actividad	Predecesora	D _{Opt}	D _{MP}	D _{pesimista}	\bar{D}	σ	σ^2
A	-	2	3	5	3.167	0.500	0.250
B	-	3	4	7	4.333	0.667	0.444
C	A	1	2	3	2.000	0.333	0.111
D	A	5	5	6	5.167	0.167	0.028
E	B, C	3	5	6	4.833	0.500	0.250
F	D, E	4	5	8	5.333	0.667	0.444
G	F	1	2	3	2.000	0.333	0.111

Paso 3. Teniendo ya estos valores se realiza el cálculo de la ruta crítica, para este caso se usará el método de la ruta crítica (CPM), sin embargo, para este solo se hallará la holgura libre ya que esta es la que da la representación de la ruta crítica cuando su valor es 0.



Notando que la ruta que tiene las señalizaciones rojas es la crítica, se obtiene como duración del proyecto el fin temprano de la última actividad que hace parte de esta, siendo esta 17.53 semanas.

Paso 4. Luego de tener la ruta crítica se hace la respectiva suma de las varianzas que hagan parte de está, siguiendo la ecuación 4.

Actividad	\bar{D}	σ	σ^2
A	3.17	0.50	0.25
B	4.33	0.67	0.44
C	2.00	0.33	0.11
D	5.17	0.17	0.03
E	4.83	0.50	0.25
F	5.33	0.67	0.44
G	2.00	0.33	0.11

$$\bar{\sigma}_{D_{proyecto}} = \sqrt{0.25 + 0.11 + 0.25 + 0.44 + 0.11} = 0.911$$

En el caso hipotético de que el método de la ruta crítica de cómo resultado 2 rutas, la que se tomará como crítica en el proyecto es aquella que tenga la menor varianza.

Paso 5. Un poco antes de llegar se responderán cada una de las preguntas, la primera y la segunda se resuelven ingresando los respectivos datos a la ecuación 5, para luego con el valor

z ingresar a las tablas de valores de probabilidad acumulada, para la Distribución Normal Estándar.

1. En la primera pregunta se especifica un Dx de 18.

$$Z = \frac{18 - 17.53}{0.911} = 0.515$$

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023

RTA: Interpolando el valor de entrada la respuesta de la primera pregunta es 69.67%

2. En la segunda pregunta se tiene un Dx de 15.

$$Z = \frac{15 - 17.53}{0.911} = -2.78$$

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
-3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010
-2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
-2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
-2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
-2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
-2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048

RTA: La probabilidad de que el proyecto dure 15 semanas es del 0.27%.

Paso 6. Finalizando el ejemplo se resuelve la pregunta 3 ingresando a la tabla de valores de probabilidad acumulada, para la Distribución Normal Estándar el porcentaje pedido y luego se despeja el D_x de la ecuación 5 ingresando el valor de Z encontrado.

3. El valor por ingresar en la tabla es 89.07%

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394

El valor de Z es 1.23, por lo cual es necesario despejar la ecuación 5, así:

$$D_x = (\bar{\sigma}_{D. \text{ proyecto}} \times Z) + \bar{D}_{\text{proyecto}}$$

$$D_x = (0.911 \times 1.23) + 17.53 = 18.65 \text{ Semanas}$$

RTA: En 18.65 semanas se tendrá una probabilidad del 89.07%



CÁLCULO DE CANTIDADES DE CONSTRUCCIÓN

COD	ACTIVIDADES	UNIDAD	CANTIDAD
1	PRELIMINARES		
1.1	Demolición	m ²	25.2
1.2	Descapote	m ³	10.15
1.3	Replanteo	m ²	25.2
1.4	Señalizacióm	Unidad	1
2	CIMENTACIÓN		
2.1	Excavación	m ³	4.5
2.2	Zapatas	m ³	6.8
2.2.1	Acero	Kg	293.3
2.2.2	Concreto	m ³	6.8
2.3	Vigas	m ³	2.9
2.3.1	Acero	Kg	125
2.3.2	Concreto	m ³	2.9

Tabla 4. Ejemplo del formato de cantidades de construcción

DEFINICIÓN

El cálculo de cantidades de construcción, como su nombre lo indica es el proceso que se debe realizar para estimar la cantidad de materiales y demás elementos necesarios en un proyecto; es una parte esencial para el desarrollo del presupuesto y la programación en la etapa de planificación. En general, el proceso para establecer las cantidades para un objeto es: examinar los planos y especificaciones de la obra, efectuar los cálculos correspondientes y establecer la respuesta, si se tienen varios componentes de estudio se recomienda organizarlos en una lista o tabla.

Al cuantificar se busca obtener una cantidad que esté en el mercado de acuerdo con el material o recurso requerido, es decir, si se hace el cálculo para un metro cuadrado de hormigón la



cantidad de cemento no debe ser un número de kilos, sino que debe ser una cantidad que exista en el mercado como los bultos de cemento. Hay que mencionar, además que los profesionales encargados de realizar estos cálculos ya sean ingenieros, arquitectos o afines, utilizan herramientas y softwares especializados que faciliten el proceso, por ejemplo: CAPP y Autodesk Construction Cloud.

Unidades de medida

Las unidades, como es sabido, sirven para expresar las dimensiones, cantidades y propiedades físicas de los elementos; el hecho de elegir la unidad adecuada depende del tipo de medida, de las normativas o estándares de la industria y de la actividad que se esté analizando, asimismo, el uso incorrecto de las unidades afecta la claridad en los documentos. Las unidades de medida más comunes que forman parte de un proyecto se muestran en la tabla a continuación:

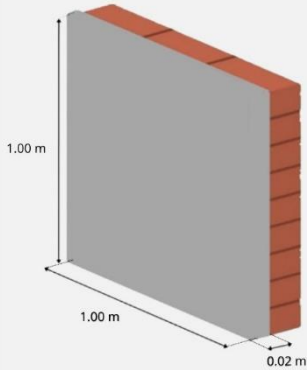
Longitud	Área	Volumen	Peso o Masa	Tiempo	Cantidad de Material
Metro (m)	Metro cuadrado (m ²)	Metro cubico (m ³)	Gramo (g)	Día (d)	Unidades
Pie (ft)	Pie cuadrado (ft ²)	Pie cubico (ft ³)	Tonelada métrica (ton)	Hora (h)	Toneladas métrica
Kilometro (km)	Hectarea (ha)	-	Kilogramo (kg)	Minuto (min)	Docenas

Tabla 5. Unidades de medida

Es oportuno mencionar que a las actividades con definición o alcance indefinido se establece como unidad de medida “Global” o “Unidad”, empero al asignar esta unidad se debe manejar con cuidado pues producen imprecisiones en los presupuestos.

Con el fin de dar una idea a la obtención de cantidades en general sin el uso de métodos, se explicará a detalle el cálculo de cantidades para un pañete, un muro de ladrillos y cajas de inspección.

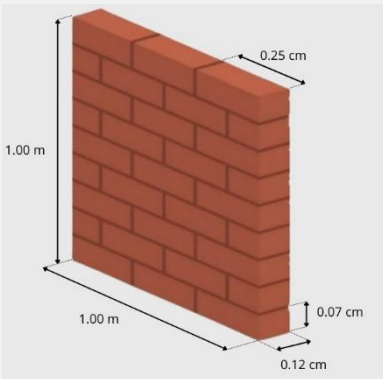
1. Pañetes de muros:



Esta actividad es bastante simple ya que tiene un solo componente: mortero 1:4 (o en cualquier otra proporción) con un espesor de 2 cm. La actividad puede considerarse genérica porque en la unidad de análisis aparecen todos sus componentes. Ya que la imagen presenta el ancho, alto y grosor del mortero el único cálculo posible es el del volumen.

$$\text{Mortero} = 1.00 \times 1.00 \times 0.02 = 0.02 \text{ m}^3$$

2. Muro de ladrillos de arcilla:



En la imagen se presenta un muro típico de 12 cm de espesor, fabricado con ladrillos de arcilla de 7 x 12 x 25 cm y mortero de cemento y arena con proporciones 1:5 y espesor de 1.5 cm.

Se observa que es una actividad genérica, por lo tanto, la unidad de análisis contiene todos los materiales que requieren para construirla. En el dibujo se observa el ladrillo de arcilla y el

mortero (constituido por cemento, arena y agua, que no tienen representación geométrica y solo podrán deducirse usando un proceso de conversión)

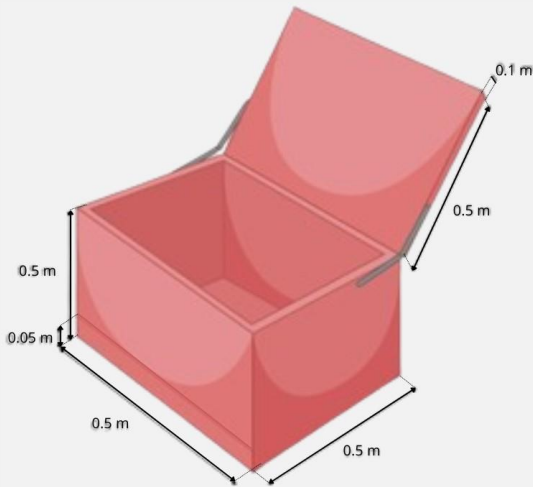
Paso 1. Se calcula la cantidad de ladrillos dividiendo la altura del muro por la de ladrillos aumentando en esta el espesor de mortero y de igual forma se hace con el ancho del muro y ladrillo, con este paso se obtiene la cantidad de ladrillos.

$$\text{Ladrillos} = \left(\frac{1.00}{0.085} \right) \times \left(\frac{1.00}{0.265} \right) = 44.39 \text{ Unidades}$$

Paso 2. Para determinar la cantidad de mortero que se tiene en el metro cuadrado de muro se le debe restar el volumen de los ladrillos equivalentes en el paso anterior al volumen del muro.

$$\text{Mortero} = (1.00 \times 1.00 \times 0.20) - (44.39 \times 0.25 \times 0.2 \times 0.07) = 0.0261 \text{ m}^3$$

3. Cajas de inspección de desagüe:



En ocasiones la definición de la actividad puede ser más compleja, con la intervención de muy diversas clases de materiales y de operaciones de construcción como puede verse en esta actividad, que incluye tales operaciones como muros, pañete, base de concreto y subbase en recebo cada una de las cuales a su vez está compuesta por diversos materiales.

El análisis de cantidades se desarrolla así:

Paso 1. Se da inicio calculando la cantidad de ladrillos de forma directa, esta fue explicada en el anterior ítem, pero en este caso las dimensiones de los muros que recubren la caja tienen dimensiones distintas.

Por lo cual se debe tener en cuenta el área de muro a construir tomando para este caso la longitud de muro como la suma de los lados restando para dos de estos cuatro lados 24 cm los cuales representan la profundidad de los ladrillos que cubren estas 2 caras. También se calcula la cantidad de mortero para la misma longitud de muro multiplicando en este también por el área de muro.

$$\text{Longitud de muro} = (0.5 \times 2) + [0.5 - (0.12 \times 2)] \times 2 = 1.52 \text{ m}$$

$$\mathbf{Ladrillos (Por m^2)} = \left(\frac{1.00}{0.265}\right) \times \left(\frac{1.00}{0.085}\right) = 44.39 \text{ Und}/m^2$$

$$\mathbf{Ladrillos} = 1.520 \times (0.5 - 0.05) \times 44.39 = 30.363 \text{ Und}$$

$$\mathbf{Mortero (Por m^2)} = (1.00 \times 1.00 \times 0.12) - (44.39 \times 0.25 \times 0.12 \times 0.07) = 0.0261 \text{ m}^3/m^2$$

$$\mathbf{Mortero} = 1.520 \times (0.5 - 0.05) \times 0.0261 = 0.0179 \text{ m}^3$$

Paso 2. El cálculo de pañetes se realiza multiplicando el área de los muros por el espesor del pañete, en este caso no es necesario restar nada ya que el pañete recubre toda la caja.

$$\mathbf{Pañetes en morteros} = 2.50 \times 0.50 \times 0.02 = 0.025 \text{ m}^3$$

Paso 3. Para el cálculo de la base, la tapa y la subbase se debe hallar el volumen dependiendo de sus áreas y espesores, teniendo como espesores los siguientes respectivamente 0.05, 0.05 y 0.1 metros.

$$\mathbf{Tapa (concreto)} = 0.50 \times 0.50 \times 0.1 = 0.25 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{Base (concreto)} = 0.50 \times 0.50 \times 0.05 = 0.0125 \text{ m}^3$$

$$\mathbf{Subbase (recebo)} = 0.50 \times 0.50 \times 0.05 = 0.0125 \text{ m}^3$$

En resumen, total de materiales para el análisis es, entonces:

Mortero	0.043 m ³
Concreto	0.263 m ³
Recebo	0.0125 m ³
Ladrillos	31 Und



MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE CANTIDADES

Sistema inglés

Este sistema se inventó en 1960, donde cada eje del plano relaciona las actividades que se realicen en el mismo. Las columnas se organizan en el siguiente orden: actividad (nombre de la actividad y datos relevantes), eje (especificación del eje), operación (cómputos realizados), cantidad (que se repetirá el cálculo), sub-total (resultado parcial de los cálculos); más adelante se ilustra un ejemplo de este sistema.

La fortaleza de este sistema es que organiza de forma eficiente las actividades, asimismo su debilidad es que los cálculos realizados están relacionados por ejes y no espacios reales, lo cual hace que sea muy detallado este sistema.

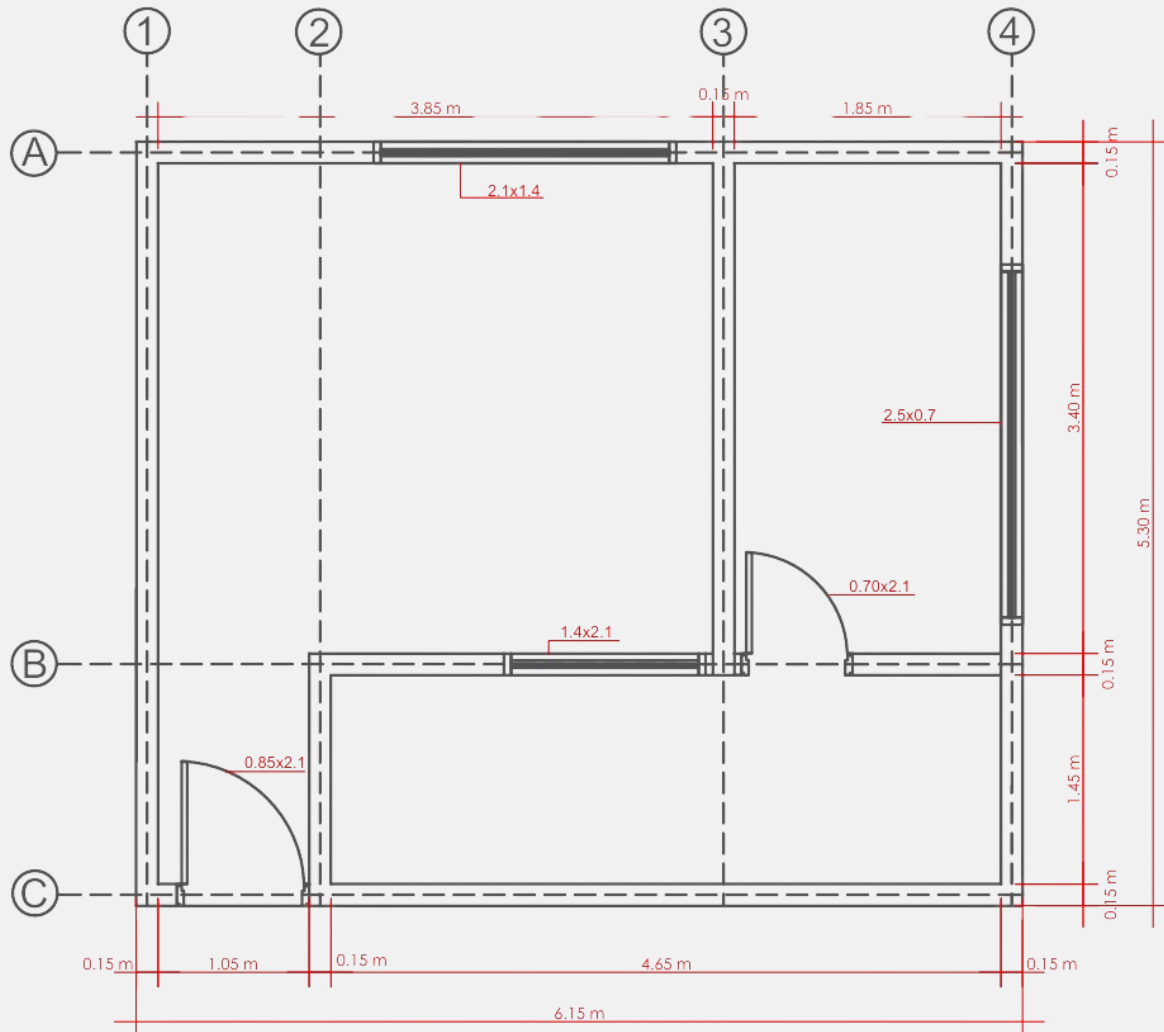
Sistema de eje universal

En 1970 se crea este sistema con la finalidad de solucionar los inconvenientes del sistema inglés. Para este formato las filas se estructuran como se observa a continuación; donde la columna “Descuentos” son datos de actividades realizadas en otro eje, es decir, mediciones que se repiten o se tuvieron en cuenta en otro eje.

La debilidad de este sistema es la misma del sistema inglés, el formato al ser exhaustivo resta eficiencia al proceso; no obstante, este sistema es muy práctico pues facilita la cubicación de cantidades al tener todas las actividades del eje en una fila.

EJEMPLO SISTEMA INGLES Y SISTEMA DE EJE UNIVERSAL:

Teniendo el siguiente plano de obra se espera calcular la cantidad de muros en m^2 de un proyecto, usando el sistema inglés y el sistema de eje universal. El espesor de los muros es de 0.15m y la altura es de 2.5m.



SOLUCIÓN SISTEMA INGLÉS

Paso 1. Realizar el formato de la tabla, con la que se va a realizar el ejercicio y recolectar la información, para el sistema inglés.

Toma De Datos	Operaciones	Cantidad	Subtotal	Total

Paso 2. Identificar las unidades en las que se va a trabajar y los muros se van a medir, en nuestro caso todos los muros tienen un espesor de 0.15m, pero este no es siempre el caso.

Lo primero que se observa es que el plano está en unidades de metro y la respuesta se pide que también este en metros, por tanto, no deben realizarse conversión de unidades. Luego se asigna un nombre a los muros del plano de acuerdo con sus ejes para mejor comprensión y organización.

Toma De Datos	Operaciones	Cantidad	Subtotal	Total
Muro 1 (A-C)				
Muro 2 (B-C)				
Muro 3 (A-C)				
Muro 4 (A-C)				
Muro A (1-4)				
Muro B (2-3)				
Muro B (3-4)				
Muro C (1-4)				

Paso 3. Utilizando las dimensiones proporcionadas en el plano, se define la longitud de cada dato (muro) y calculamos el área con la siguiente ecuación.

$$\text{Área}_{muro} = \text{Longitud}_{muro} \times \text{Altura}_{muro}$$

En algunos casos no se tiene la longitud del muro de forma explícita, por esto se agrega una casilla para mostrar el cálculo a realizar para obtener dicho dato.

Toma De Datos	Largo (m)	Operaciones	Cantidad
Muro 1 (A-C)	5.30	(5.3x2.5)	1
Muro 2 (B-C)	1.45+0.15	(1.6x2.5)	1
Muro 3 (A-C)	5.3-0.3	(5.0x2.5)	1
Muro 4 (A-C)	5.30	(5.3x2.5)	1
Muro A (1-4)	6.15-0.3	(5.85x2.5)	1
Muro B (2-3)	3.85-1.05-0.15	(2.65x2.5)	1
Muro B (3-4)	1.85	(1.85x2.5)	1
Muro C (1-4)	5.85	(5.85x2.5)	1

Si el muro 4(A-C) no tuviera la ventana, tendría la misma área del muro 1(A-C) y podría ponerse en la tabla de la siguiente forma.

Toma De Datos	Operaciones	Cantidad	Subtotal	Total
Muro 1 (A-C)	(5.3x2.5)	2	26.5	
Muro 4 (A-C)				
Muro 2 (B-C)	(1.6x2.5)	1	4.0	
Muro 3 (A-C)	(5.0x2.5)	1	12.5	
...

Paso 4. Ahora, en los muros donde se tengan puertas o ventanas deben realizarse dichos descuentos que se agregaran a la casilla de operaciones como se observa a continuación.

Toma De Datos	Largo (m)	Operaciones	Cantidad	Subtotal	Total
Muro 1 (A-C)	5.30	(5.3x2.5)	1		
Muro 2 (B-C)	1.45+0.15	(1.6x2.5)	1		
Muro 3 (A-C)	5.3-0.3	(5.0x2.5)	1		
Muro 4 (A-C)	5.30	(5.3x2.5) - (2.5x0.7)	1		
Muro A (1-4)	6.15-0.3	(5.85x2.5) - (2.1x1.4)	1		
Muro B (2-3)	3.85-1.05-0.15	(2.65x2.5) - (1.4x2.1)	1		
Muro B (3-4)	1.85	(1.85x2.5) - (0.7x2.1)	1		
Muro C (1-4)	5.85	(5.85x2.5) - (0.85x2.1)	1		

Paso 5. Por último, se procede a calcular el resultado de las operaciones, es decir, el subtotal y total de cada muro; de donde se obtiene que hay un total de 72.62m² de muro

Toma De Datos	Largo (m)	Operaciones	Cantidad	Subtotal	Total
Muro 1(A-C)	5.30	(5.3x2.5)	1	13.25	72.615
Muro 2(B-C)	1.45+0.15	(1.6x2.5)	1	4	
Muro 3(A-C)	5.3-0.3	(5.0x2.5)	1	12.5	
Muro 4(A-C)	5.30	(5.3x2.5) - (2.5x0.7)	1	11.5	
Muro A(1-4)	6.15-0.3	(5.85x2.5) - (2.1x1.4)	1	11.685	
Muro B(2-3)	3.85-1.05-0.15	(2.65x2.5) - (1.4x2.1)	1	3.685	
Muro B(3-4)	1.85	(1.85x2.5) - (0.7x2.1)	1	3.155	
Muro C(1-4)	5.85	(5.85x2.5) - (0.85x2.1)	1	12.84	

SOLUCIÓN SISTEMA EJE UNIVERSAL

Paso 1. Revisar el plano, sus unidades y realizar el formato de la tabla, al igual que en el sistema anterior; cabe aclarar que no es la misma tabla. Además, se recomienda poner las unidades en las que se esté trabajando el ejercicio.

Eje	Largo (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Descuentos	Muros (e=0.15m)

Paso 2. Identificar los ejes de los muros se van a medir, puesto que en este sistema se debe organizar los elementos con un eje del plano; si bien en el ejercicio anterior se asignaron de esta forma, no era mandatorio y se podrían haber designado de otra manera (por ejemplo: muro1, muro2, etc.), lo anterior se hizo con el fin de facilitar la comprensión del procedimiento al lector.

Dicho esto, se organiza la columna *Eje* de la tabla igual que la columna *Toma De Datos* de la solución del sistema inglés.

Paso 3. Utilizando las dimensiones proporcionadas en el plano, se consignan en la tabla, el largo y alto, de los muros en cada eje. Luego, se calcula el área de cada muro al multiplicar la longitud total del muro por la altura de este, tal y como se explicó antes.

Eje	Largo (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Descuentos	Muros (e0.15m)
Muro 1 (A-C)	5.30	2.5	13.25		
Muro 2 (B-C)	1.60		3.25		
Muro 3 (A-C)	5.00		12.5		
Muro 4 (A-C)	5.30		13.25		
Muro A (1-4)	5.85		14.625		
Muro B (2-3)	2.65		7		
Muro B (3-4)	1.85		4.625		
Muro C (1-4)	5.85		14.625		

Paso 4. Ahora, para la casilla de descuentos, esta hace referencia a las zonas donde no se tienen muros, sino puertas o ventanas, y por tanto se debe restar el área que ocupen estos elementos.

Eje	Largo (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Descuentos	Muros (e0.15m)
Muro 1 (A-C)	5.30	2.5	13.25		
Muro 2 (B-C)	1.60		4.0		
Muro 3 (A-C)	5.00		12.5		
Muro 4 (A-C)	5.30		13.25	1.75	
Muro A (1-4)	5.85		14.625	2.94	
Muro B (2-3)	2.65		6.625	2.94	
Muro B (3-4)	1.85		4.625	1.47	
Muro C (1-4)	5.85		14.625	1.79	

Paso 5. Por último, se procede a calcular el resultado de las operaciones, en la casilla *Muros*; y se llega a la misma respuesta del método anterior, 72.24m² de muro en total.

Eje	Largo (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Descuentos	Muros (e0.15m)
Muro 1(A-C)	5.30	2.5	13.25		13.25
Muro 2(B-C)	1.60		4.0		4.0
Muro 3(A-C)	5.00		12.5		12.5
Muro 4(A-C)	5.30		13.25	1.75	11.5
Muro A(1-4)	5.85		14.625	2.94	11.685
Muro B(2-3)	2.65		7	2.94	3.685
Muro B(3-4)	1.85		4.625	1.47	3.155
Muro C(1-4)	5.85		14.625	1.79	12.84
TOTAL					72.615



Sistema de recintos

Este sistema fue concebido por Juan Guillermo Consuegra como respuesta a la limitación del método de eje universal, que resultaba inaplicable en áreas horizontales. El formato de este nuevo sistema es similar al del eje universal, con la distinción de que en la primera columna se registra el recinto en lugar del eje, y se elimina la columna de Descuentos.

La principal fortaleza de este método radica en su capacidad para relacionar la información con los espacios específicos que conforman el proyecto. Sin embargo, su principal inconveniente radica en que el formato aún se percibe como extenso y laborioso de completar.

Método Vargas

El método Vargas o recinto universal es un método desarrollado en 1991, este parte de la premisa fundamental de que un recinto está conformado por seis fachadas, la cuales incluyen cuatro muros, el piso y el techo; al contrario de los métodos anteriores. Es importante destacar que el Método Vargas es considerado el más extenso y largo de todos los sistemas descritos anteriormente, a pesar de ello, su fortaleza radica en la capacidad de proporcionar un control optimizado de las obras al tener un grado de detalle amplio.

Otros métodos

Además de los anteriores métodos, existen programas de computador para realizar el cálculo de cantidades de obra como lo es: el Sistema Construplan, desarrollado por Construdata en el año 2000; el Método Construcad, diseñado por Construdata en 1992 y que enlazaba los planos hechos en AutoCAD con su aplicación.

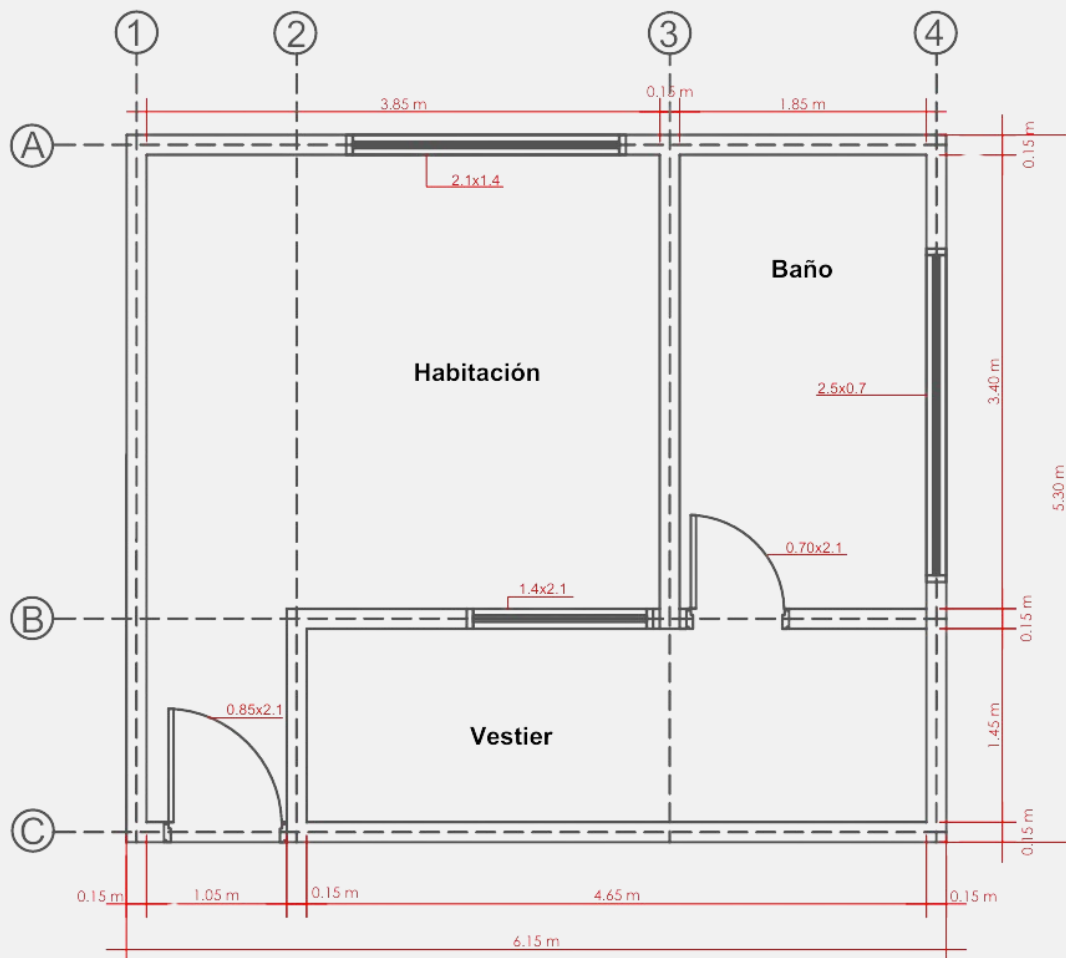
EJEMPLO SISTEMA VARGAS Y SISTEMA DE RECINTOS:

Teniendo el plano de obra del ejemplo anterior se espera calcular la cantidad de pintura interior en m^2 de un proyecto, usando el sistema de Vargas y el sistema de recintos. Sabiendo que la altura de los muros es de 2.5m.

SOLUCIÓN SISTEMA RECINTOS

Paso 1. Identificar los recintos que se tienen en el plano y organizarlos.

Observando el plano se identifican tres zonas que denominaré: habitación, vestier y baño.



Paso 2. En este método tiene un formato propuesto que se muestra a continuación. Sin embargo, como en este ejercicio solo se busca calcular una actividad (pintura), no se va a utilizar dicha tabla.

Recinto	Largo (m)	Alto (m)	Área (m ²)	Actividad 1	Actividad ...

Paso 3. Utilizando las dimensiones proporcionadas en el plano, se procede a calcular el área a pintar de cada muro. Primero se define el perímetro general y luego se descuenta las zonas donde no hay muros (puertas y ventanas), de la siguiente forma.

Habitación

$$Habitación_{\text{área}} = \sum \text{Largo}_{x \text{ pared}} \times \text{Altura}_{\text{muro}}$$

$$Habitación_{\text{área}} = (5.0 + 3.85 + 3.4 + 2.8 + 1.6 + 1.05) \times 2.5 = 44.25 \text{ m}^2$$

$$Habitación_{\text{descuentos}} = \sum \text{Área}_{\text{no muro}} = \sum \text{Largo}_{\text{no muro}} \times \text{Altura}_{\text{no muro}}$$

$$Habitación_{\text{descuentos}} = (2.1 \times 1.4) + (0.85 \times 2.1) + (1.4 \times 2.1) = 7.665 \text{ m}^2$$

$$Habitación_{\text{pintura}} = Habitación_{\text{perímetro}} - Habitación_{\text{descuentos}}$$

$$Habitación_{\text{pintura}} = 44.25 - 7.665 = 36.585 \text{ m}^2$$

Vestier

$$Vestier_{\text{área}} = [(4.65 \times 2) + (1.45 \times 2)] \times 2.5 = 30.5 \text{ m}^2$$

$$Vestier_{\text{descuentos}} = (1.4 \times 2.1) + (0.7 \times 2.1) = 4.41 \text{ m}^2$$

$$Vestier_{\text{pintura}} = 30.5 - 4.41 = 26.09 \text{ m}^2$$

Baño

$$Baño_{\text{área}} = [(3.4 \times 2) + (1.85 \times 2)] \times 2.5 = 26.25 \text{ m}^2$$

$$Baño_{\text{descuentos}} = (2.5 \times 0.7) + (0.7 \times 2.1) = 3.22 \text{ m}^2$$

$$Baño_{\text{pintura}} = 26.25 - 3.22 = 23.03 \text{ m}^2$$

Paso 4. Por último, se procede a calcular el total de vinilo necesario para pintar el interior de los muros, que es de 85.33 m² de pintura en total.

$$Pintura_{\text{total}} = Habitación_{\text{pintura}} + Vestier_{\text{pintura}} + Baño_{\text{pintura}}$$

$$Pintura_{\text{total}} = 36.585 + 26.09 + 23.03 = 85.705 \text{ m}^2$$

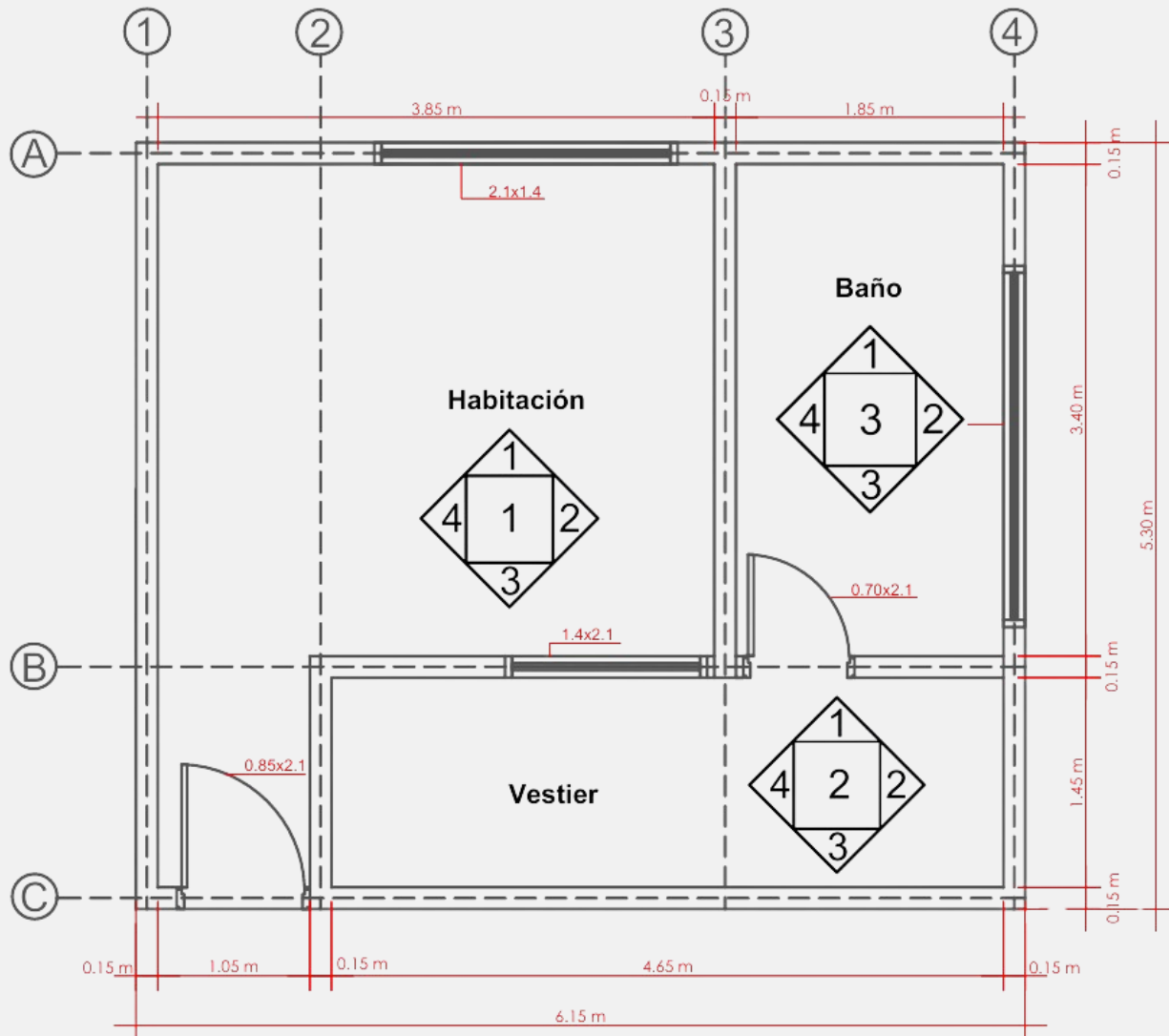
SOLUCIÓN SISTEMA DE VARGAS O RECINTO UNIVERSAL

Paso 1. Identificar los recintos que se tienen en el plano y organizarlos. Se escoge la misma organización de la solución del sistema Vargas.

Paso 2. Ahora, para este método se divide cada recinto en fachadas y a diferencia de los otros métodos el formato del sistema de recintos tiene una columna con el diagrama (dibujo) de cada fachada.

Fachada	Actividad	Unidad	Cantidad

Paso 3. Luego, se procede a designar números para las fachadas de cada recinto. Esto se realiza de la siguiente manera.



Paso 4. Lo siguiente, es realizar los cálculos necesarios para determinar la pintura necesaria en cada fachada.

A continuación, se va a realizar el procedimiento para el recinto 1 o la habitación. Y para los otros recintos solamente se llenará el formato.

FACHADA 1-1

$$Fachada_{1-1} = (3.85 \times 2.5) - (2.1 \times 1.4) = 6.685 \text{ m}^2$$

Fachada	Actividad	Unidad	Cantidad
	Pintura	m ²	6.685

FACHADA 1-2

$$Fachada_{1-2} = 5.0 \times 2.5 = 12.5 m^2$$

Fachada	Actividad	Unidad	Cantidad
	Pintura	m ²	12.5

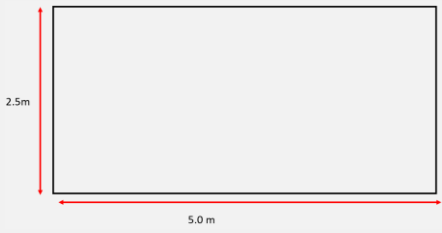
FACHADA 1-3

$$Fachada_{1-3} = (3.85 \times 2.5) - (1.4 \times 2.1) - (0.85 \times 2.1) = 4.9 m^2$$

Fachada	Actividad	Unidad	Cantidad
	Pintura	m ²	4.9

FACHADA 1-4

$$Fachada_{1-4} = 5.0 \times 2.5 = 12.5 m^2$$

Fachada	Actividad	Unidad	Cantidad
	Pintura	m ²	12.5

$$Pintura_{Habitación} = 6.685 + 12.5 + 4.9 + 12.5 = 36.585 \text{ m}^2$$

Paso 5. Repetimos el proceso para cada fachada y se obtienen los siguientes valores.

Fachada	Actividad	Unidad	Cantidad
Fachada 1			
F1-1	Pintura	m ²	6.685
F1-2		m ²	12.5
F1-3		m ²	4.9
F1-4		m ²	12.5
Fachada 2			
F2-1	Pintura	m ²	7.215
F2-2		m ²	3.625
F2-3		m ²	11.625
F2-4		m ²	3.625
Fachada 3			
F3-1	Pintura	m ²	4.625
F3-2		m ²	6.75
F3-3		m ²	3.155
F3-4		m ²	8.5
Total			85.705

Para un total de 85.705 m² de pintura interior.



DESPERDICIOS

Los desperdicios se entienden como el material extra que se gasta en una actividad, estos excesos superan las cantidades calculadas a partir de los planos y, pueden ocurrir en el proceso de diseño y ejecución del proyecto. Las causas de estos consumos se derivan de diversos factores como: las características del material, la forma de ejecutar la actividad, la falta de coordinación o el entorno donde se realiza la construcción.

Es importante agregar que no es posible prever los desperdicios, por tanto, estos deben considerarse como un porcentaje, procedimiento utilizado con mayor frecuencia pero que tiene que ser revisado de forma constante con el fin de conseguir datos confiables, o se pueden calcular a partir de estadísticas de ejecución real en obra. Entonces, se puede afirmar que en cualquier caso se debe tener en cuenta el desperdicio.



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS (APU)

El Análisis de Precio Unitario (A.P.U.) es un método aplicado usualmente en la ingeniería, este se utiliza para desglosar y estimar el costo individual de los elementos que conforman un proyecto. El procedimiento para realizar un A.P.U. implica descomponer una actividad del proyecto en los materiales, los equipos, la mano de obra y los costos indirectos para luego calcular el costo total de dicha actividad. lo cual aporta una evaluación detallada de cada actividad y forma una base sólida para la presupuestación de proyectos futuros. Para finalizar, se puede afirmar que esta metodología es uno de los componentes fundamentales de la estimación de costos en proyectos ya que facilita la comparación de costos entre distintos proyectos y proporciona una comprensión detallada de los factores que contribuyen al costo total.

MATERIALES

Los materiales son los productos necesarios en la realización de un proyecto y es importante cuantificarlos para cada actividad ya que constituye uno de los tres factores principales que hacen parte de la construcción de los A.P.U. Para calcular la cantidad de materiales el primer paso es revisar las medidas en un plano y definir la unidad de medida a utilizar, lo que facilita la cuantificación y estimación precisa de los costos. Lo anterior depende del material que se esté analizando y el comercio (o catálogo del proveedor).

$$\text{Valor} - \text{Unit}_{\text{Material}} = \text{Precio} - \text{Unit} \times \text{Cantidad} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\text{Sub} - \text{Total}_{\text{Material}} = \sum \text{Valor} - \text{Unit}_{\text{Material}} \quad \text{Ecuación 7}$$



MANO DE OBRA

La mano de obra representa un costo directo derivado de la realización de labores por parte de los trabajadores en la obra. Si bien, por distintas razones, no existe una expresión universal para estimar este costo, es posible obtener una respuesta al considerar las características del proyecto. El tiempo que un obrero dedica para llevar a cabo una cantidad específica de trabajo se llama **rendimiento**; y puede determinarse al realizar un estudio de tiempo en el puesto de trabajo con resultados exactos o promedios.

Al igual que el rendimiento la **productividad** es un indicador de eficiencia que expresa la proporción de trabajo realizado por hora trabajada. Los factores que más influyen en el desempeño de un trabajador son: la disposición de materiales y equipos, la supervisión de obra, las instrucciones proporcionadas para la ejecución de la actividad, y el grado de especialización y la capacidad física del empleado.

Estudio de rendimientos exactos

El estudio de rendimientos exactos es utilizado mayormente en las operaciones estandarizadas, también se le conoce como el sistema de cadena de montaje o estudio de tiempos. Esta técnica permite determinar los rendimientos de un equipo con precisión debido a que se establece un tiempo estándar permisible para realizar una tarea específica, es decir, este sistema lleva a cabo un análisis de cada paso de un proceso para identificar y cuantificar el tiempo requerido para completar la tarea analizada. Lo anterior, supone que la información recolectada se utiliza para establecer estándares de tiempo para mejorar la eficiencia en las operaciones.



Estudio de rendimientos por promedios

A diferencia del estudio de rendimientos exactos, este sistema busca recolectar información de diferentes proyectos y tiempos con el objetivo de obtener un valor promedio. Luego de tener las cantidades de obra y los tiempos empleados, se procede a determinar el rendimiento promedio expresado en sus unidades correspondientes; con este análisis es posible generar un estándar de eficiencia para cada actividad estudiada que permita identificar cuando se requieren ajustes y mejoras en el desarrollo de la obra.

Pseudorendimientos

Este término hace referencia a los rendimientos calculados a partir de aproximaciones, sin realizar los estudios correspondientes. En esta técnica se supone el tiempo que tardará el obrero en realizar cierta actividad tomando en consideración una labor similar a la de estudio.

A pesar de que los pseudorendimientos no originan datos representativos, se ha demostrado experimentalmente que son valores utilizables en tanto se realizan los estudios correspondientes para el proyecto.

$$Jornal\ Total_{Cuadrilla} = Jornal \times Prestaciones \quad \text{Ecuación 8}$$

$$Valor - Unit_{Cuadrilla} = \frac{Jornal\ Total_{Cuadrilla}}{Rendimiento} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$Sub - Total_{Cuadrilla} = \sum Valor - Unit_{Cuadrilla} \quad \text{Ecuación 10}$$



EQUIPOS

Los equipos que intervienen en una obra se infieren de acuerdo con las especificaciones de cada actividad, ya que esto depende de cómo se desarrolle la obra. Por ejemplo, cuando es necesario realizar la excavación de un terreno esta puede ser manual o mecánica, en el primer caso no se requiere equipo especializado, ya que se llevaría a cabo con herramientas manuales convencionales. En cambio, para la excavación manual sí se utiliza equipo pesado o máquinas excavadoras, donde la magnitud de estos equipos depende completamente del nivel de exigencia de la tarea.

Tipos de costos

Hay dos tipos de costos en los que puede incurrir el equipo de obra:

Los **costos fijos** se derivan de la adquisición del equipo, estos son permanentes aun cuando no se emplee el equipo, en otras palabras, los costos se generan independientemente de la actividad del equipo en un momento dado; estos abarcan aspectos como la depreciación, los pagos de seguros, los impuestos y los costos de almacenamiento.

Los **costos variables** son generados por la operación de las máquinas, en consecuencia, sólo se producen si se utiliza el equipo y pueden incluir gastos como el combustible, el mantenimiento y las reparaciones; sin embargo, estos costos varían en proporción directa con la cantidad de horas o el nivel de actividad en el que se utilice el equipo.



Capacidad y rendimiento

El conocimiento de las características del equipo a utilizar es de gran importancia para determinar qué equipo utilizar en cada actividad, además, propiedades como el tamaño y la potencia de la máquina influyen en el rendimiento; por tanto, el presupuestador debe revisar detalladamente el equipo a comprar o arrendar.

El conocimiento de las características, capacidades y limitaciones del equipo a utilizar son de gran importancia para determinar qué equipo utilizar en cada actividad, además, propiedades como el tamaño y la potencia de la máquina influyen en el rendimiento; por tanto, el presupuestador debe revisar detalladamente que el equipo a comprar o arrendar cumpla con las condiciones de requerimientos específicos de cada tarea. Esto no solo aporta información importante para los presupuestos y las cotizaciones, sino que optimiza la planificación del proyecto.

$$\text{Rendimiento} = \frac{1}{\text{Productividad}} \quad \text{Ecuación 11}$$

Costo y tiempo de uso

El costo del equipo depende del tiempo de uso, y a la misma vez, el tiempo de uso es directamente proporcional a la magnitud de la obra. Si las máquinas de una obra son compradas estas se deben agregar a los costos de administración. Por el contrario, si las máquinas son arrendadas, los costos se incluyen en el A.P.U. de la actividad correspondiente. El tiempo que se va a utilizar el equipo debe deducirse a partir de los rendimientos, retrasos y dependencia entre actividades.



La planificación detallada permite una gestión eficiente de los recursos y una estimación más precisa de los costos asociados al equipo en el desarrollo de la obra. La elección entre comprar o arrendar máquinas también impacta directamente en la estructura de costos y requiere una evaluación cuidadosa para tomar decisiones estratégicas en la gestión del proyecto.

$$Valor - Unit_{Equipo} = \frac{Tarifa}{Hora} \times Rendimiento \text{ Ecuación 12}$$

$$Valor - Unit_{Transporte} = Tarifa \times [Cantidad \times Distancia (m^3 - Km)] \text{ Ecuación 13}$$

$$Sub - Total_{Transporte} = \sum Valor - Unit_{Transporte} \text{ Ecuación 14}$$

HERRAMIENTA MENOR

La herramienta menor (HM) son aquellos elementos básicos para llevar a cabo trabajos de construcción, sin embargo, el presupuestador es el que define la herramienta necesaria de acuerdo con la cantidad de cuadrillas que laboran simultáneamente en el proyecto y la actividad que estas estén realizando. La experiencia del presupuestador es un factor importante al determinar el porcentaje de herramienta menor necesaria para cada actividad en el A.P.U. sin dejar de garantizar la eficiencia y la efectividad en la ejecución de las tareas que se realicen en la obra. Es necesario recalcar que el hecho de hacer un trabajo adecuado en la selección de herramientas permite suplir las necesidades específicas de herramienta menor de cada proyecto.

$$Valor - Unit_{Herramienta\ menor} = Sub - Total_{Cuadrilla} \times \% \text{ Ecuación 15}$$

$$Sub - Total_{Equipo} = \sum Valor - Unit_{Equipo} + \sum Valor - Unit_{HM} \text{ Ecuación 16}$$



COSTOS INDIRECTOS

Dentro de un presupuesto de obra, se encuentran no solo los costos directos sino también los costos indirectos, compuestos por la administración, los imprevistos y la utilidad (abreviado como A.I.U.) Estos elementos dan una planificación financiera más completa y realista, ya que además de incluir los costos indirectos del proyecto, proporciona un margen económico que afronte los inconvenientes que se presenten y prevenga las pérdidas que puedan ocurrir en el proceso de construcción.

Los costos administrativos se refieren a los gastos generales de un proyecto, relacionados con la infraestructura de apoyo y pagos administrativos como gestión y supervisión de la construcción, permisos, seguros, procesamiento de documentos, verificación del cumplimiento normativo. De igual modo, el valor correspondiente a los costos administrativos varía según las condiciones económicas, sociales y de mercado, por tanto, debe determinarse el porcentaje administración adecuadamente, dado que si el valor relevante es demasiado alto la obra sale del mercado, pero si el valor es demasiado bajo la obra no puede realizarse satisfactoriamente.

Los imprevistos son el factor de incertidumbre expresado en porcentaje del costo directo de la obra con un valor que oscila comúnmente entre el 3% y 5%, su objetivo es cubrir las situaciones económicas adversas como la fluctuación en los precios de materiales (que no se deba a la inflación o desperdicios), cambios de diseño o requisitos, condiciones climáticas desfavorables, errores humanos, etc.



Es imperativo recalcar que los eventos inesperados que ocurren durante el desarrollo del proyecto generan costos adicionales imprevisibles, en otras palabras, el conocimiento y la experiencia no eliminan el riesgo de incurrir en gastos que afecten el presupuesto; por lo cual se incorporan los imprevistos, y así, asegurar una reserva que atenúe las desviaciones del presupuesto.

La utilidad es la ganancia que se puede obtener en una obra, siempre y cuando el valor generado sea superior al valor invertido en el proyecto. Puesto que esta remuneración esperada surge cuando los costos y gastos de la construcción son inferiores al monto aportado, su determinación se basa en la complejidad de la obra, las condiciones del mercado, el criterio del presupuestador, así como el conocimiento, la habilidad y la experiencia aportados, y no solo el cálculo numérico que se debe realizar. Para finalizar cabe señalar que la precisión del presupuesto, el cumplimiento de los tiempos y precios previstos, y la gestión eficiente determinan la magnitud de la utilidad.

$$\text{Administración} = [15 - 35]\% \times \text{Total Costo Directo} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$\text{Imprevistos} = [3 - 5]\% \times \text{Total Costo Directo} \quad \text{Ecuación 18}$$

$$\text{Utilidad} = [3 - 5]\% \times \text{Total Costo Directo} \quad \text{Ecuación 19}$$

EJEMPLO 1

La empresa de construcción FOREROYAMAYA le solicita a su ingeniero civil que calcule el rendimiento (unitario) y el tiempo que requiere una cuadrilla para preparar concreto ciclópeo para cimentación de 1,0 m de profundidad, teniendo en cuenta que tiene como dimensiones 3.9 m x 4.2 m.

Concreto ciclópeo para cimentación entre 0,0 y 1,0 m de profundidad						
Maestro	:	Oficial	:	Ayudante	=	Rendimiento
0	:	1	:	7	=	6.0 m ³ x día

SOLUCIÓN

Paso 1. Se debe calcular el volumen de concreto a utilizar ya que el rendimiento de la cuadrilla está en unidades de volumen.

$$V_{ciclópeo} = 3.9 \times 4.2 \times 1 = 16.38 \text{ m}^3$$

Paso 2. Ahora, se procede a calcular el rendimiento de la cuadrilla y determinar de esta forma el tiempo que demora la mano de obra en realizar la actividad; esto se realiza por medio de reglas de tres como se muestra posteriormente.

$$1 \text{ Oficial} \rightarrow 6 \text{ m}^3 \rightarrow 1 \text{ día} \rightarrow 8 \text{ horas}$$

$$1 \text{ oficial} \rightarrow 1 \text{ m}^3 \rightarrow X \text{ día} \rightarrow X \text{ horas}$$

Asimismo, se aplica la relación anterior para los ayudantes que conforman la cuadrilla.

$$7 \text{ Ayudantes} \rightarrow 6 \text{ m}^3 \rightarrow 1 \text{ día} \rightarrow 8 \text{ horas}$$

$$7 \text{ Ayudantes} \rightarrow 1 \text{ m}^3 \rightarrow X \text{ día} \rightarrow X \text{ horas}$$

Entonces, a partir de esta relación se pueden analizar las siguientes expresiones matemáticas para obtener el rendimiento y la productividad.

$$Productividad = \frac{1 \text{ m}^3}{6 \text{ m}^3} \times 8 \text{ horas} = 1.33 \text{ horas/m}^3$$

$$Productividad = \frac{1.33}{8} = 0.16625 \text{ jornal}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{1}{0.16625} = 6 \text{ m}^3/\text{jornal}$$

Para preparar el concreto ciclópeo se necesita 1 oficial y 7 ayudantes de acuerdo con la información brindada por el ejercicio, sin embargo, la composición de la cuadrilla no debe modificarse; ya que, el tiempo requerido se calcula a partir del rendimiento y no de la mano de obra, así:

$$\text{Tiempo requerido} = \frac{16.38 \text{ m}^3}{6 \text{ m}^3} \times 1 \text{ jornal} = 2.73 \text{ días}$$

RTA. La cuadrilla debe contratarse para un total de 3 días (jornales) para garantizar la terminación de la actividad.

EJEMPLO 2

Un estudiante de ingeniería civil debe elaborar el APU de relleno con recebo para Bucaramanga, Santander, donde el AIU es 20%, 3%, y 5% respectivamente. Para elaborar el APU se le pide que consulte el portal de INVIAS y de la revista CONSTRUDATA con el fin de que realice las averiguaciones en diferentes catálogos.

SOLUCIÓN INVIAS

Paso 1. Lo primero es entrar al portal de INVIAS y descargar la información correspondiente con el ejercicio, como se muestra en la siguiente imagen.

El enlace de la página es el siguiente, en este se selecciona el departamento y la provincia (municipio) en el que se encuentra el proyecto, es decir, el lugar de estudio, en este caso que es la ciudad de Bucaramanga. <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/hechos-de-transparencia/analisis-de-precio-unitarios>

Proyecto APU de referencia
Regionalización APU de referencia
Consulta APU de referencia
Consideraciones para consulta y uso
Mapa de APU de referencia

Consulta y descarga de los APU de referencia regionalizados por provincias

En el filtro que se presenta a continuación, según la opción de consulta y descarga de su interés, tendrá tres (3) alternativas: 1) Descargar el archivo de APU de una provincia de un departamento específico; 2) Descargar los archivos de APU de todas las provincias de un departamento y 3) Descargar los archivos de APU de todas las provincias del país (140 provincias). Para mayor detalle sobre las 3 alternativas mencionadas, en el botón "Ayuda" podrá encontrar la guía de uso del filtro.

Adicionalmente, en la pestaña "Mapa de APU de referencia" podrá consultar los municipios y provincias de cada departamento, así como los precios de insumos o costos totales de actividad de manera resumida para cada provincia.

DESCARGAR ARCHIVO DE APU DE REFERENCIA

Ayuda

Opciones de consulta:

Según la alternativa de consulta de información de su interés, seleccione los datos correspondientes:

Departamento:

Municipio:

Año:

Periodo:

Provincia a la que pertenece el municipio: SANTANDER - SOTO | Código: 6805

Provincia

Departamento

País

Archivo encontrado. Seleccione la opción de descarga "Provincia"

Opciones de descarga:

Provincia

Departamento

País

Paso 2. Luego se definen los materiales, los equipos y la mano de obra requerida para la actividad, al buscar cada ítem en el listado correspondiente y obtener el precio unitario, la cantidad o rendimiento, y la unidad de medida respectiva.

En este caso, el material de obra es recebo para relleno y el equipo a utilizar es un compactador manual, puesto que esto es lo que implica el proceso de relleno con recebo. En cuanto a la mano de obra necesaria, está compuesta por 1 oficial y 4 obreros (tabla del libro de la profe); cabe agregar que también es necesario tener en cuenta el transporte del material para el APU.

VOLVER A PORTADA

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
SUBDIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE REFERENCIA REGIONALIZADOS 2023-2



LISTADO DE MATERIALES

#	Código	unidad	Insumo	Precio (\$ COP)	CATEGORÍA
223	B0014311	m3	Material de base clase C (NT1) gradación fina BG 38	\$ 70,898.28	Agregados
224	B0014312	m3	Material de base clase C (NT1) gradación gruesa BG 27	\$ 70,898.28	Agregados
225	B0014313	m3	Material de base clase C (NT1) gradación gruesa BG 40	\$ 70,898.28	Agregados
226	B0014314	m3	Material de base gradación BEE-25	\$ 70,898.28	Agregados
227	B0014315	m3	Material de base gradación BEE-38	\$ 70,898.28	Agregados
228	B0014316	m3	Material de base gradación BEE-5	\$ 70,898.28	Agregados
229	B0014373	m3	Material de receo para relleno	\$ 20,554.54	Agregados
230	B0014374	m3	Material de relleno para bacheo tipo base y/o sub-base	\$ 70,898.28	Agregados
231	B0014375	kg	Material de relleno y oquedades para roca	\$ 4,839.54	Aditivos y adhesivos
232	B0014341	m3	Material de sub- base clase A (NT3) gradación SBG-38	\$ 40,360.55	Agregados

VO PO VOLVER A PORTADA

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
SUBDIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE REFERENCIA REGIONALIZADOS 2023-2



LISTADO DE EQUIPOS

#	Código	unidad	Insumo	CLASIFICACIÓN	Precio (\$ COP)
28	C0010214	h	Compactador de rodillo potencia: 80HP, peso: 7 ton	Compactación – Nivelación	\$ 153,058.43
29	C0010211	h	Compactador de rodillo potencia: 99 hp, peso: 8 toneladas	Compactación – Nivelación	\$ 122,943.60
30	C0010212	h	Compactador de rodillo, potencia 105 hp, peso de 6 toneladas	Compactación – Nivelación	\$ 95,622.80
31	C0010200	h	Compactador manual (saltarín) peso de operación (kg.) 52, fuerza de impacto por golpe (KN) 12	Compactación – Nivelación	\$ 9,843.52
32	C0010210	h	Compactador manual de rodillo	Compactación – Nivelación	\$ 26,106.95
33	C0010220	h	Compactador manual vibratorio (CANGURO) (Apisonadores), potencia aproximada 5 HP	Compactación – Nivelación	\$ 9,843.52
34	C0010190	h	Compactador manual vibratorio (rana) con motor de 6 hp	Compactación – Nivelación	\$ 9,003.44
35	C0010230	h	Compactador neumático de Potencia 70 HP, peso de 13 ton	Compactación – Nivelación	\$ 122,943.60
36	C0010213	h	Compactador neumático peso 3,5 ton	Compactación – Nivelación	\$ 95,622.80
37	C0010240	h	Compactador vibratorio potencia aproximada de 15 Kw	Compactación – Nivelación	\$ 79,179.71

VOLVER A PORTADA

INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
SUBDIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA
ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE REFERENCIA REGIONALIZADOS 2023 -2



LISTADO DE MANO DE OBRA

unidad	ítem	VALOR (\$ COP)	OBSERVACIONES
mes	Salario mínimo legal mensual vigente - SMLMV básico 2023	\$1,160,000.0	
mes	Subsidio de transporte 2023	\$140,606.0	
mes	Salario mínimo legal mensual vigente - SMLMV 2023 + Subsidio de transporte 2023	\$1,300,606.0	
día	Jornal + subsidio de transporte 2023	\$43,353.5	
%	Factor prestacional INVIAS vigente	\$0.85	
día	Jornal básico con factor prestacional	\$71,533.3	
mes	salario basico SMLMV 2023 con factor prestacional	\$2,146,000.0	

#	Código	unidad	Insumo	Precio (\$ COP)	Factor de Jornal 2023	OBSERVACIONES
25	A0041002	día	Oficial Obrero (3) Cuadrilla de un oficial y 3 Obreros.	\$ 336,206.7	4.7	
26	A0041008	día	1 Oficial y 1 Obrero.	\$ 193,140.0	2.7	
27	A0041004	día	Cuadrilla de Un Oficial y (2) Obreros.	\$ 264,673.3	3.7	
28	A0041006	día	Cuadrilla de un oficial y (4) Obreros.	\$ 407,740.0	5.7	
29	A0100010	día	Cuadrilla de desmontaje (10 personas)	\$ 670,267.3	9.37	
30	A0100180	día	Cuadrilla de fabricación	\$ 365,535.3	5.11	

VOLVER A PORTADA		INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS SUBDIRECCIÓN DE PLANIFICACIÓN DE INFRAESTRUCTURA ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE REFERENCIA REGIONALIZADOS 2023-2			INVIAS INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS
LISTADO DE TRANSPORTE					
#	Código	unidad	Insumo	Precio (\$ COP)	
16	T0010010	m3-km	Transporte de material de afirmado	\$ 1,160.48	
17	T0010020	m3-km	Transporte de material de base	\$ 1,160.48	
18	T0010032	m3-km	Transporte de material de demolición	\$ 1,160.48	
19	T0010025	m3-km	Transporte de material de excavación	\$ 1,160.48	
20	T0010062	m3-km	Transporte de material de relleno	\$ 1,160.48	
21	T0010036	m3-km	Transporte de material de remoción	\$ 1,160.48	
22	T0010030	m3-km	Transporte de material de sub-base	\$ 1,160.48	
23	T0010040	t-km	Transporte de material desmontado	\$ 937.37	
24	T0010028	m3-km	Transporte de material drenante	\$ 1,160.48	
25	T0010006	m3-km	Transporte de material fresado	\$ 1,160.48	

Paso 3. El siguiente paso es calcular el valor unitario para cada componente de la actividad; en los materiales de obra se utiliza la ecuación X, para la mano de obra se utilizan las ecuaciones X y X, y para el equipo se utilizan las ecuaciones X y X.

Materiales en obra

$$Valor - Unit_{Recebo} = 20554.54 \times 1.30 = \$ 26720.90$$

$$Sub - Total_{Recebo} = \$ 26720.90$$

Mano de obra

$$Jornal Total_{Cuadrilla} = 220400 \times 185\% = \$ 407740$$

$$Valor - Unit_{Cuadrilla} = \frac{407740}{18.00} = \$ 22652.22$$

$$Sub - Total_{Mano de obra} = \$ 22652.22$$

Equipo

$$Rendimiento_{Compactador} = \frac{1}{18/8} = 0.4444 \text{ hora}/m^3$$

$$\text{Valor} - \text{Unit}_{\text{Compactador}} = \frac{9843.52}{0.4444} = \$ 4374.90$$

$$\text{Valor} - \text{Unit}_{\text{Herramienta menor}} = 22652.22 \times 5\% = 1132.61$$

$$\text{Sub} - \text{Total}_{\text{Equipo}} = 4374.90 + 1132.61 = \$ 5507.51$$

Transporte

$$\text{M3} - \text{Km}_{\text{Relleno}} = 1.30 \times 1.00 = 1.30 \text{ m}^3 \times \text{Km}$$

$$\text{Valor} - \text{Unit}_{\text{Relleno}} = 1160.48 \times 1.30 = \$ 1508.62$$

$$\text{Sub} - \text{Total}_{\text{Transporte}} = \$ 1508.62$$

$$\textbf{Total Costo Directo} = \$ \textbf{56389.26}$$

Paso 4. A continuación, se calculan los costos indirectos (AIU) y el precio unitario total para la actividad a partir de los datos proporcionados en el inciso del ejercicio y se organiza la información recolectada en el formato para APU.

$$\text{Administración} = 20\% \times 56389.26 = \$ 11277.85$$

$$\text{Imprevistos} = 3\% \times 56389.26 = \$ 1691.68$$

$$\text{Utilidad} = 5\% \times 56389.26 = \$ 2819.46$$

$$\text{Sub} - \text{Total}_{\text{Costos Indirectos}} = 11277.85 + 1691.68 + 2819.46 = \$ 15788.99$$

$$\textbf{Total Costo Indirecto} = \$ \textbf{15788.99}$$

$$\text{Precio Unitario Total} = 56389.26 + 15788.99 = \$ 71181.85$$

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

PROYECTO: Estructura de referencia

ITEM: Relleno con recebo

UNIDAD : m³

I. EQUIPO

Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
Compactador manual (saltarín) peso de operación (kg.) 52, fuerza de impacto por golpe (KN) 12		9,843.52	0.444	4,374.90	
Herramienta menor (%)			5.00%	1,132.61	
Sub-Total					5,507.51

II. MATERIALES EN OBRA

Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
Material de recebo para relleno	m ³	20,554.54	1.30	26,720.90	
Sub-Total					26,720.90

III. TRANSPORTES

Material	Vol-peso ó Cant.	Distancia	M3-Km	Tarifa	Valor-Unit.	
Transporte de relleno	1.30	1.00	1.30	1,160.48	1,508.62	
Sub-Total						1,508.62

IV. MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.	
Cuadrilla de un oficial y (4) Obreros.	\$ 220,400.00	185%	407,740.00	18.00	22,652.22	
Sub-Total						22,652.22

Total Costo Directo

56,389.26

V. COSTOS INDIRECTOS

Descripción	Porcentaje	Valor Total	
ADMINISTRACION	20%	11,277.85	
IMPREVISTOS	3%	1,691.68	
UTILIDAD	5%	2,819.46	
Sub-Total			15,788.99

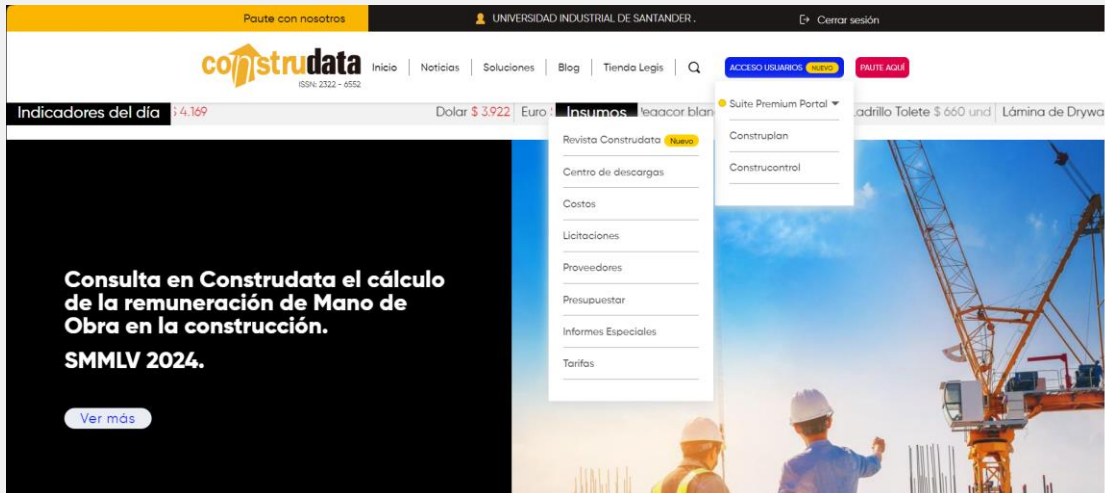
Precio unitario total aproximado al peso

72,178.25

SOLUCIÓN CONSTRUDATA

Para esta solución el proceso es el mismo realizado para el portal de INVIAS, cambiando únicamente el paso 1 y la ubicación a considerar se cambiará a Bogotá debido a la información proporcionada por CONSTRUDATA.

Paso 1. Ingresar con su usuario a la biblioteca virtual UIS, se selecciona CONSTRUDATA en la base de datos “aplicadas”. Luego se ingresa al portal de la revista, en Acceso Usuarios – Suite Premium Portal – Presupuestar; donde finalmente se llega al catálogo de insumos.



Paso 2. Definición del precio, unidad, y cantidad o rendimiento de los materiales, los equipos y la mano de obra para la actividad.

Es necesario tener en cuenta que la información de la maquinaria está en días se hace la conversión a horas, al dividir el valor en 8.

¿QUE DESEA HACER?

- Consultar precios de Insumos
- Consultar análisis unitarios
- Crear Presupuesto
- Consultar mis Presupuestos

Consultar Precios de Insumos

Para iniciar la consulta digite un criterio en el campo de búsqueda por palabras.

Consulte los precios actualizados de análisis en Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla.

Grupo: Nombre:

NOMBRE	UM	FECHA	BOGOTA		CALI		B / QUILLA.		MED
			PROV.	VALOR	PROV.	VALOR	PROV.	VALOR	
RECEBO COMUN	m²	Abr - 2024	12816	\$10.497	12816	\$10.497	12816	\$10.497	12816
RECEBO B-200	m²	Abr - 2024	15636	\$190.040	14789	\$190.040	15050	\$190.040	14789

¿QUE DESEA HACER?

- Consultar precios de Insumos
- Consultar análisis unitarios
- Crear Presupuesto
- Consultar mis Presupuestos

Consultar Precios de Insumos

Para iniciar la consulta digite un criterio en el campo de búsqueda por palabras.

Consulte los precios actualizados de análisis en Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla.

Grupo: Nombre:

NOMBRE	UM	FECHA	BOGOTA		CALI		B
			PROV.	VALOR	PROV.	VALOR	
VIBROCOMPACTADOR (MANA)	d	Abr - 2024	6773	\$61.744,68	6773	\$61.744,68	6773
VIBROCOMPACTADOR 12 TON.	h	Abr - 2024	6773	\$154.29996	6773	\$154.29996	6773
VIBROCOMPACTADOR AUTOREVERTE	h	Abr - 2024	8203	\$36.738,08	8203	\$36.738,08	8203

- Consultar precios de insumos
- Consultar análisis unitarios
- Crear Presupuesto
- Consultar mis Presupuestos

Para iniciar la consulta digite un criterio en el campo de búsqueda por palabras.

Consulte los precios actualizados de análisis en Bogotá, Cali, Medellín y Barranquilla.

Grupo: Nombre:

NOMBRE	UM	FECHA	BOGOTA		CALI		B / QUILLA.	
			PROV.	VALOR	PROV.	VALOR	PROV.	VALOR
DÍA AYUDANTE ALBANILERÍA TIPO1 - CON PRESTACIONES	d	Abr - 2024	194	\$93.654	194	\$93.654	194	\$93.654
DÍA OFICIAL ALBANILERÍA TIPO1 - CON PRESTACIONES	d	Abr - 2024	194	\$134.655	194	\$134.655	194	\$134.655
HORA AYUDANTE ALBANILERÍA TIPO1 - CON PRESTACIONE	h	Abr - 2024	194	\$11.707	194	\$11.707	194	\$11.707

Paso 3. Calcular el valor unitario de los ítems de la actividad, con las ecuaciones definidas en este capítulo.

Paso 4. Calcular los costos indirectos (AIU) y el precio unitario total para la actividad, y organizar la información recolectada en el formato para APU.

	ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS
--	--------------------------------------

PROYECTO: Estructura de referencia

ITEM: Relleno con recebo

UNIDAD : m³

I. EQUIPO

Descripción	Tipo	Tarifa/Hora	Rendimiento	Valor-Unit.	
Vibrocompactador (Rana)		7,718.09	0.444	3,430.26	
Herramienta menor (%)			5.00%	1,414.64	
Sub-Total					4,844.90

II. MATERIALES EN OBRA

Descripción	Unidad	Precio-Unit.	Cantidad	Valor-Unit.	
Recebo B-200	m ³	19,040.00	1.30	24,752.00	
Sub-Total					24,752.00

III. TRANSPORTES

Material	Vol-peso ó Cant.	Distancia	M3-Km	Tarifa	Valor-Unit.	
Transporte de relleno	1.30	1.00	1.30	1,160.48	1,508.62	
Sub-Total						1,508.62

IV. MANO DE OBRA

Trabajador	Jornal	Prestaciones	Jornal Total	Rendimiento	Valor-Unit.	
Día ayudante albañilería tipo 1 (4)	\$ 202,495.14	185%	374,616.00	18.00	20,812.00	
Día oficial albañilería tipo 1	\$ 72,786.49	185%	134,655.00	18.00	7,480.83	
Sub-Total						28,292.83

Total Costo Directo

59,398.36

V. COSTOS INDIRECTOS

Descripción	Porcentaje	Valor Total	
ADMINISTRACION	20%	11,879.67	
IMPREVISTOS	3%	1,781.95	
UTILIDAD	5%	2,969.92	
Sub-Total			16,631.54

Precio unitario total aproximado al peso

76,029.90



MOVIMIENTO DE TIERRAS

El movimiento de tierras se define como el proceso de trasladar suelo de una ubicación a otra y someterlo a un procesamiento que cumpla con los requisitos de construcción en cuanto a posición, elevación, densidad, contenido de humedad, entre otros. En la ingeniería civil se denomina terreno a la materia que conforma las capas superficiales de la corteza. Este se utiliza para constituir las cimentaciones en edificaciones o las bases en las carreteras; la composición de un terreno se puede clasificar en dos: las rocas y el suelo.

Las rocas son materiales sólidos con fuerte cohesión interna y fuerzas moleculares que la hacen una masa sólida y compacta (Holtz et al, 2011). En contraste, el suelo es un conjunto de partículas de composición mineral y/o materia orgánica, el proceso de formación de los suelos o edafogénesis ocurre cuando la roca madre se ve afectada por acción mecánica, química y biológica (Terzaghi, 1943)

CLASIFICACIÓN DEL SUELO

El Sistema Universal de Clasificación de Suelos (SUCS), también conocido como Unified Soil Classification System (USCS) en inglés, organiza la tierra en función del tamaño de sus partículas. La curva de gradación, por otro lado, es una manera de estructurar una muestra según la cantidad y proporción de partículas, determinada al comparar los resultados del tamizado con el porcentaje de pesos en cada tamiz.



El objetivo es evaluar si la gradación es uniforme (bien gradado), asegurando que haya tamaños suficientes para llenar los vacíos internos, o no uniforme (pobremente graduado), lo que indica que el suelo es poco compactable.

La forma de las partículas es un factor adicional que afecta el comportamiento del suelo. Si las partículas son angulares, redondeadas o de cascajillo, adicionalmente, la causa de los distintos comportamientos observados en base a los tipos de forma es la fricción interna del suelo.

En cuanto al estado en el que se encuentre se puede clasificar en tres condiciones: **material en banca (B)** es aquel que se encuentra en su estado natural (in situ), **material suelto (S)** es el cual ha sido excavado, es decir, es el material después de haber sido removido, y **material compactado (C)** es el material que se compacta para rellenar un área designada. También, se debe considerar que un **metro pagado** puede ser un metro cúbico de cualquiera de los tres materiales ya mencionados, y este depende del acuerdo realizado con el cliente.

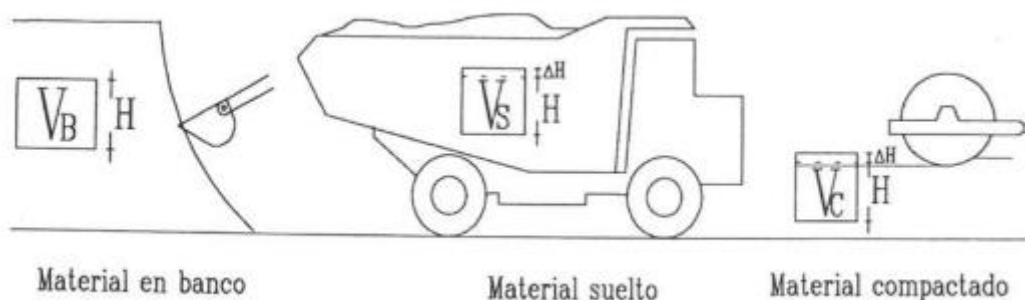


Ilustración 16. Clasificación del suelo [5]

Habitualmente el metro pagado es de material en banca, excepto cuando se habla de la construcción de presas, diques, etc, en este caso el metro pagado es de material compactado.



CONSISTENCIA DEL SUELO

Los límites de Atterberg son valores de humedad que definen los puntos donde cambia la consistencia del material, se puede definir como la consistencia el estado de un suelo en función del contenido de agua propio. Las propiedades de estos límites son: el límite plástico es la frontera donde una muestra cambia de estado semisólido a plástico; el límite líquido como su nombre lo dice es cuando se pasa del estado plástico a líquido; y el índice de plasticidad que indica el tamaño del intervalo donde el suelo se encuentra en estado plástico.

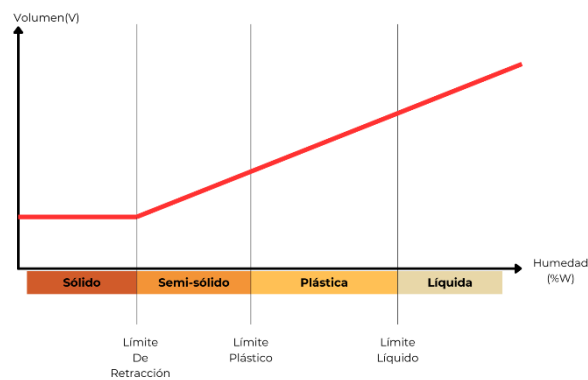


Ilustración 17. Límites de Atterberg [6]

Nomenclatura

El Sistema Universal de Clasificación de Suelos (SUCS) describe las partículas de un suelo mediante dos letras. La primera letra representa la granulometría y la segunda letra hace referencia a su gradación.

Por ejemplo, si un suelo se clasifica como "SW", indica que el suelo contiene partículas de arena (S) y está bien graduado (W). Este sistema proporciona una manera rápida y estándar de comunicar las características principales de los suelos en la ingeniería civil y la geotecnia.



Primera y/o segunda letra			Segunda letra	
Letra	Definición	Granulometría (Diámetro)	Letra	Definición
G	Grava	> 4.75 mm	P	Pobrementemente graduado
S	Arena	0.075 mm < ϕ < 4.75 mm	W	Bien graduado
M	Limo	0.002 mm < ϕ < 0.075 mm	H	Alta plasticidad
C	Arcilla	< 0.002 mm	L	Baja plasticidad
O	Órganico	-		

Tabla 6. Nomenclatura del SUCS

DENSIDAD

El agua es un factor crítico en la construcción ya que afecta características del suelo como la trabajabilidad y la resistencia a la tensión, lo cual puede ocasionar hundimientos o colapsos en el terreno a construir. Sin embargo, los suelos que tienen humedad relativamente baja no tienen la capacidad suficiente para que sus partículas se deslicen y acomoden. Entonces, se puede afirmar que la capacidad que tiene un área de resistir al flujo del agua y el grado de compactación en un relleno depende principalmente de la densidad del terreno.

La densidad se define comúnmente como la relación entre peso y volumen, y es una de las propiedades del material que debe conocer el ingeniero, ya que con esta se evalúa el rendimiento del equipo. Además, el peso por metro cúbico afecta la manera de cargar y el trabajo que efectúa la maquinaria, ya que a mayor densidad del suelo mayor es la fuerza requerida para ejecutar el movimiento de tierra.

La densidad húmeda es la humedad del terreno en estado natural o la muestra no ha sido alterada, es decir, es la humedad tal como se halla en el terreno. La densidad seca como su nombre lo indica es aquella donde se ha extraído toda el agua que contenía la muestra.

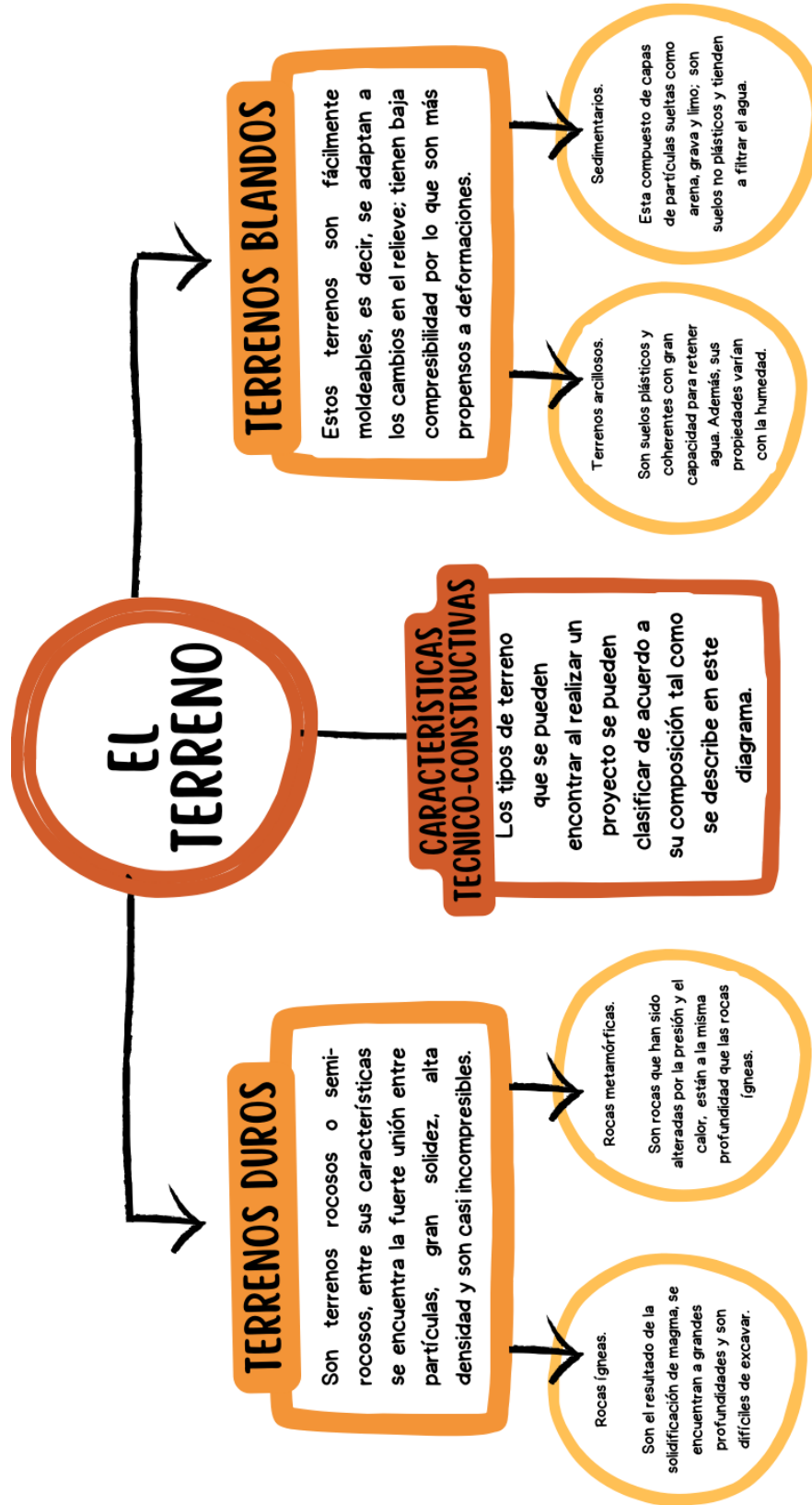


Ilustración 18. Tipos de terrenos a partir de sus características técnico-constructivas

Actividades Involucradas



DESCAPOTE

Es una de las actividades preliminares de una obra, este implica eliminar la vegetación y materiales superficiales del terreno, manualmente o con maquinaria pesada, para prepararlo para la construcción.



EXCAVACIÓN

Es la labor en la que se lleva a cabo la excavación y remoción de material a cierta profundidad para construir los cimientos de la obra o hacer las conexiones necesarias.



RELLENO

Esta tarea consiste en nivelar y compactar el terreno excavado, buscando crear una superficie uniforme y estable, esto con el material excavado o un material seleccionado que cumpla las especificaciones de la norma.



COLOCACIÓN

La carga del material excavado y su posterior acarreo hacia lugares designados para su disposición o uso en otras fases del proyecto, es una actividad que puede incluirse dentro de otras actividades como la excavación y relleno.



TERRAPLENES

Son montículos de tierra creados para nivelar terrenos o crear bases sólidas, se construyen mediante el movimiento y compactación de tierra.



PAVIMENTACIÓN

Es la aplicación de la capa de pavimento sobre una superficie preparada; esta capa, proporciona la capa de rodadura que soportará las cargas vehiculares y peatonales.

Ilustración 19. Actividades involucradas en el movimiento de tierras

MAQUINARIA

INVOLUCRADA



EXCAVADORA

Es utilizada para la excavación de suelos, corte de materiales y carga en volquetas.



RETROEXCAVADORA

Es una maquina que combina funciones de excavadora y cargadora frontal.



MOTOTRAÍLLA

Esta diseñada para mover grandes cantidades de tierra de un lugar a otro.



VOLQUETA

Es un vehículo de carga, utilizado para transportar y descargar materiales, como tierra, grava o escombros, en el lugar de destino



BULLDOZER

Es utilizado para empujar y nivelar grandes cantidades de tierra, así como para la construcción de terraplenes y la preparación del terreno.



CARGADORES

Es el equipo que permite la manipulación de diversos tipos de carga en obras de construcción.



ASFALTADORA

Aparato especializado en la colocación de capas de asfalto en la construcción de carreteras y pavimentos.



COMPACTADORA

Maquina encargada de compactar suelos, agregados o asfalto, para mejorar la capacidad de soporte del material



MOTONIVELADORA

Nivela y gradúa superficies de terreno, se emplea para la preparación de bases y la creación de pendientes suaves.



CISTERNA

Son los vehículos diseñados para transportar y distribuir agua en sitios de construcción



GRUA

Desempeña diversas funciones en la construcción, como el remolque de implementos y la nivelación de terrenos.



MIXER DE CONCRETO

Es un camión especializado para transportar concreto fresco desde la planta de producción hasta el lugar de construcción.

Ilustración 20. Maquinaria involucrada en el movimiento de tierras



EXPANSIÓN, COMPRESIBILIDAD Y FACTOR DE CONVERSIÓN VOLUMÉTRICA

El movimiento de tierras hace parte del cálculo de cantidades, pero no es posible aplicar los métodos de cálculo de cantidades explicados anteriormente debido a que esta cubicación debe tener en cuenta que los materiales de excavación pueden sufrir un fenómeno de descompactación (aumento de volumen) o compactación (pérdida de volumen).

La siguiente gráfica muestra la relación entre material en banco, suelto y compactado; como se puede observar el volumen ocupado por una tonelada de material es diferente en cada uno de sus estados, la disminución o aumento de volumen depende del tipo de tierra, su manejo y compactabilidad.

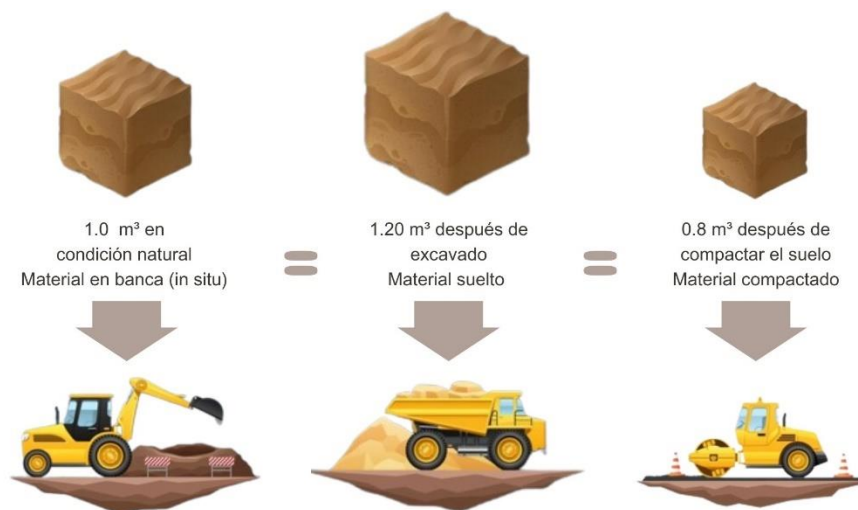


Ilustración 21. Relación entre material en banco, suelto y compactado



EXPANSIÓN. Capacidad del terreno de aumentar su volumen cuando se pierde la unión entre sus partículas, por ejemplo, cuando un material es excavado. Hay dos tipos de expansión: la expansión primaria que resulta de excavar el terreno y la expansión remanente que se refiere a la expansión mantenida después de más de 4 meses ya sea por factores de consolidación, infiltración o tránsito)

COMPRESIBILIDAD. Capacidad del terreno de disminuir su volumen cuando se compacta, sucede cuando un material es utilizado para rellenar un espacio y es sometido a cargas de presión ya sea para que este se asiente o se comprima.

FACTOR DE CONVERSIÓN VOLUMÉTRICA (FCV). Estos factores se crearon para determinar la relación existente entre material suelto, material en banca y material compactado, y expresan el porcentaje de material expandido o compactado. Las fórmulas utilizadas para determinar el FCV, porcentaje de expansión y porcentaje de compactación son las siguientes.

$$VS = VB \times (1 + \%EXP) \quad \text{Ecuación 20}$$

$$VC = VB \times (1 - \%COMP) \quad \text{Ecuación 21}$$

$$FCV = VS/VB \quad \text{Ecuación 22}$$

EJEMPLO 1

En la adecuación de un terreno fue necesario trasladar una cantidad específica de material para así tener una granulometría mejorada, el lugar cuenta con un área de 2.000 m² para esto su idea es profundizar 40 cm, incluyendo el retiro de material orgánico, además luego, llenarlo dos de

sus vecinos “cercaños” le ofrecen ayuda al respecto, cobrándole sólo el traslado y volumen compactado del material. siendo el cobro de este el siguiente:

ACTIVIDAD	PRECIO A	PRECIO B
Traslado	\$2.200 m ³ - km	\$1.600 m ³ - km
Compactado	\$8.000 m ³	\$9.000 m ³

Además de los precios usted decide hacerles un estudio a los dos suelos, para obtener que el terreno del vecino A tiene un porcentaje de expiación y de compresión del 10% y 12% respectivamente, y el terreno del vecino B tiene porcentajes de 8% y 13% respectivamente. Además, se afirma que el vecino A vive a 2 km y el vecino B vive a 3.5 km de distancia. ¿A cuál de sus vecinos elegiría para obtener un resultado óptimo?

SOLUCIÓN:

Paso 1. Primero que todo se debe definir la cantidad de material que se debe compactar, por lo tanto, se hallará el volumen compactado, siendo este el volumen final del terreno adecuado.

$$V_c = \text{Área del terreno} \times \text{Profundidad de excavación}$$

$$V_c = 2000 \text{ m}^2 \times \frac{40}{100} \text{ m} = 800 \text{ m}^3$$

Paso 2. Luego de esto es necesario encontrar tanto el volumen suelto para el debido traslado, para esto es necesario despejar la ecuación 21, para así despejar el volumen en banca, esto para los dos terrenos.

$$VC = VB \times (1 - \%COMP) \rightarrow VB = \frac{VC}{(1 - \%COMP)}$$

Vecino A	Vecino B
$VB = \frac{800}{(1-12\%)} = 909,09 \text{ m}^3$	$VB = \frac{800}{(1-13\%)} = 919,54 \text{ m}^3$

Paso 3. Teniendo los valores en banca de cada uno de los terrenos se procede a encontrar el volumen suelto con la ecuación 20.

Vecino A	Vecino B
$VS = 909,09 \times (1 + 10\%) = 999,99 \text{ m}^3$	$VS = 919,54 \times (1 + 8\%) = 993,103 \text{ m}^3$

Paso 4. Para finalizar se deben hallar los precios por los que trabaja cada uno de los vecinos, estos precios se hallaran de la siguiente forma:

1. Precio de volumen compactado: este precio será definido por la multiplicación entre el volumen compactado y el valor de compactación por metro cúbico.

$$PrecioT_{VC} = VC \times Precio_{VC}$$

2. Precio de transporte: este precio se halla con la multiplicación entre la distancia entre terrenos, el precio y el volumen suelto de cada terreno

$$PrecioT_{Transp} = VS \times Precio_{Transp} \times Distancia$$

Vecino A	Vecino B
$PrecioT_{VC} = 800 \times 8000 = \$ 6'400.000$	$PrecioT_{VC} = 800 \times 9000 = \$ 7'200.000$
$PrecioT_{Trans} = 2 \times 2200 \times 999,99$ $PrecioT_{Trans} = \$ 4'400.000$	$PrecioT_{Trans} = 3.5 \times 1600 \times 993,103$ $PrecioT_{Trans} = \$ 5'561.378$

Paso 5. Teniendo en cuenta esto se suman los valores por los cuales sale el trabajo de cada vecino y se elige para este caso ya que se tienen porcentajes muy similares el valor con menos costos.

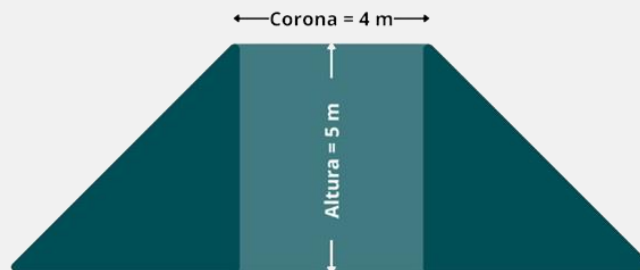
$$\text{Precio Total} = \text{Precio}T_{\text{Transp}} \times \text{Precio}T_{\text{VC}}$$

Vecino A	Vecino B
$\text{Precio Total} = 6'400.000 + 4'400.000$ $\text{Precio Total} = \$10'800.000$	$\text{Precio Total} = 7'200.000 + 5'561.378$ $\text{Precio Total} = \$12'761.378$

Por lo tanto, para obtener un resultado óptimo el vecino elegido es el A.

EJEMPLO 2:

Se necesita construir un dique con dimensiones específicas: 5 metros de altura y una corona con un ancho de 4 metros. La longitud total del dique es de 400 metros y los taludes deben tener una pendiente de 1:2. El material para construir el dique será extraído de una zona de préstamo ubicada a 2 km de distancia, según el análisis del laboratorio del terreno, el peso unitario del material varía: 1.250 kg/m³ en su estado natural, 1.100 kg/m³ cuando está suelto y 1.600 kg/m³ cuando está compactado al grado requerido para el dique.

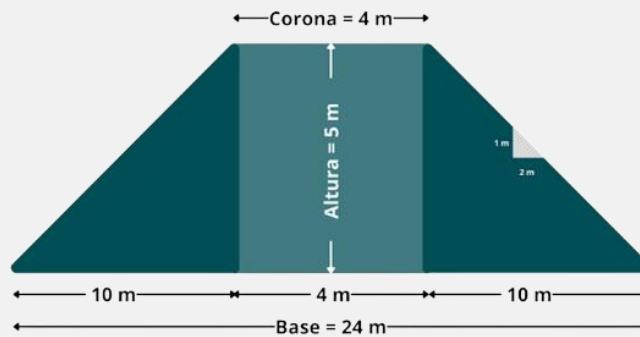


Para calcular el costo total de construir el dique, se necesita considerar los precios y las unidades de pago que figuran en la tabla siguiente tabla:

Actividad	Valor (\$)	Unidad
Corte y cargue	10,000.00	m ³ banca
Transporte	12,000.00	m ³ suelto por km
Extendida y compactada	20,000.00	m ³ compactado

SOLUCIÓN:

Paso 1. Para dar inicio es necesario saber todas las medidas del dique, esto teniendo en cuenta que ya se tiene valor de corona y de altura, por lo tanto, solo falta el valor de la base, sin embargo, el ejercicio proporciona una pendiente de talud 1:2, lo que indica que por cada 2 metros que se avanza horizontalmente se aumenta 1 metro verticalmente, con esta indicación se determina una base de dique de 24 m.



Paso 2. Hallar el valor del área transversal, esto se realiza con la ecuación de área de un trapecio, encontrada a continuación:

$$A_{\text{Trapezio}} = \frac{b + B}{2} \times h$$

Donde b representa la longitud de la corona B la de la base y h la altura.

$$A_{\text{Trapezio}} = \frac{4 + 24}{2} \times 5 = 70 \text{ m}^2$$

Paso 3. Luego de tener el área transversal del dique lo que sigue es encontrar el volumen que se llenara que resulta de la multiplicación entre el área transversal del dique y la distancia del mismos, y como se trata de un volumen “final” se asegura que este es el compactado.

$$V_{Compactado} = 70m^2 \times 400m = 28.000 m^3$$

Paso 4. Con el volumen y el peso unitario cuando está compactado se hallará el peso necesario para llenar el dique, además, con el peso unitario cuando está en estado natural (en banca) y cuando está suelto, se determinará volumen en banca y volumen suelto.

$$W_{Compactado} = 28000 m^3 \times \frac{31600 kg}{1m^3} = 44'800.000 kg$$

Luego, con el valor del peso del cuerpo se pueden hallar los volúmenes restantes como se explicaba anteriormente.

$$V_{Suelto} = 44'800.000 kg \times \frac{1m^3}{1.100 kg} = 40'727.273 m^3$$

$$V_{Banca} = 44'800.000 kg \times \frac{1m^3}{1.250 kg} = 35.840 m^3$$

Paso 5. Para terminar con el valor de cada uno de los Volúmenes se halla el costo total del dique que viene dado por la suma entre el costo de corte y cargue (Hallado con el volumen en banca), el costo de transporte (Hallado con el volumen suelto) y el costo de extendida y compactada (hallado con el volumen compactado).

$$Cost_{CorteYCargue} = 28.000 m^3 \times 10.000 = \$ 280'000.000$$

$$Cost_{Transporte} = 40'727.273 m^3 \times 12.000 = \$ 488'727.240$$

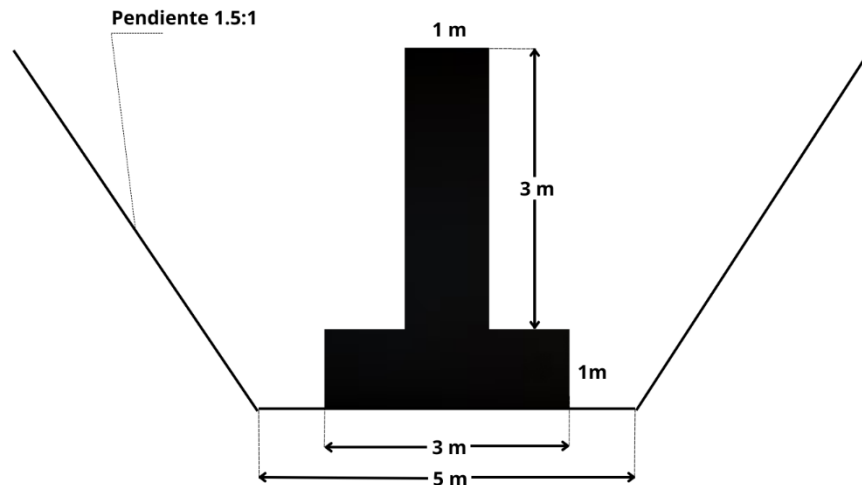
$$Cost_{ExtendidayCompactada} = 35.840 m^3 \times 20.000 = \$ 716'800.000$$

$$Cost_{Total} = 280'000.000 + 488'727.240 + 716'800.000 = \$ 1.484'552.724$$

RTA: Dando solución al ejercicio el costo del dique planteado será de \$1.484'552.724.

Ejercicios resueltos

1. La figura muestra la zapata continua de un edificio con un perímetro de 20 metros. En este caso la pendiente es de 1,5:1 lo que significa que, por cada 1,5 metros de desnivel vertical, hay 1 metro de recorrido horizontal. El material tiene una expansión del 26% y una compactación del 15%. En el proceso constructivo se excava el material de la zanja, se construye la cimentación y se rellena nuevamente la zanja con el mismo material que se extrajo de ella. Indique si el material extraído es suficiente para realizar el relleno e indique cuál es el volumen de material SUELTO que sobra o que falta para hacer el relleno de la cimentación



SOLUCIÓN:

- Área transversal de la zanja

$$Area_{zanja} = \frac{B + b}{2} * h$$

$$B = 5 + 2\left(\frac{4}{1.5}\right) = 10.\bar{3} m$$

$$Area_{zanja} = \frac{10.\bar{3} + 5}{2} * 4 = 30.\bar{6} m^2$$

- Área de la zapata

$$Area_{zapata} = 1 m * 3 m + 1 m * 3 m = 6 m^2$$

- Área por compactar

$$Area_{comp} = 30.6 \text{ m}^2 - 6 \text{ m}^2 = 24.6 \text{ m}^2$$

- Volumen en banca

$$V_B = 30.6 \text{ m}^2 * 20 \text{ m} = 613.3 \text{ m}^3$$

- Volumen por compactar

$$V_c = 24.6 \text{ m}^2 * 20 \text{ m} = 493.3 \text{ m}^3$$

- Volumen suelto que se extrae de la zanja

$$V_S = V_B \times (1 + \%EXP)$$

$$V_S = 613.3 \text{ m}^3 \times (1 + 26\%) = 772.79 \text{ m}^3$$

- Volumen suelto necesario para compactar

$$V_C = V_B \times (1 - \%COMP)$$

$$V_B = \frac{V_C}{(1 - \%COMP)}$$

$$V_B = \frac{493.3 \text{ m}^3}{(1 - 15\%)} = 580.39 \text{ m}^3$$

$$V_S = V_B \times (1 + \%EXP)$$

$$V_S = 580.39 \text{ m}^3 \times (1 + 26\%) = 731.29 \text{ m}^3$$

- Volumen de material SUELTO restante

$$Area_{comp} = 772.79 \text{ m}^3 - 731.29 \text{ m}^3 = 41.49 \text{ m}^3$$

El material extraído es suficiente para realizar el relleno y su tiene una cantidad de sobra igual a 41.49 metros cúbicos en suelto.

2. Se necesita sacar material de una cantera para rellenar la zanja de la figura encontrada en el punto 1 después de la construcción de la cimentación. Determine el volumen de metros cúbicos en banca que se necesita transportar si la longitud de la zanja es de 15 metros lineales. El material tiene una expansión del 15% y una compactación del 20%.

- Área por compactar

$$Area_{Comp} = 30.6 \text{ m}^2 - 6 \text{ m}^2 = 24.6 \text{ m}^2$$

- Volumen por compactar

$$V_c = 24.6 \text{ m}^2 * 15 \text{ m} = 369.9 \text{ m}^3$$

- Volumen suelto necesario para compactar

$$V_c = V_B \times (1 - \%COMP)$$

$$V_B = \frac{V_c}{(1 - \%COMP)}$$

$$V_B = \frac{369.9 \text{ m}^3}{(1 - 20\%)} = 462.5 \text{ m}^3$$

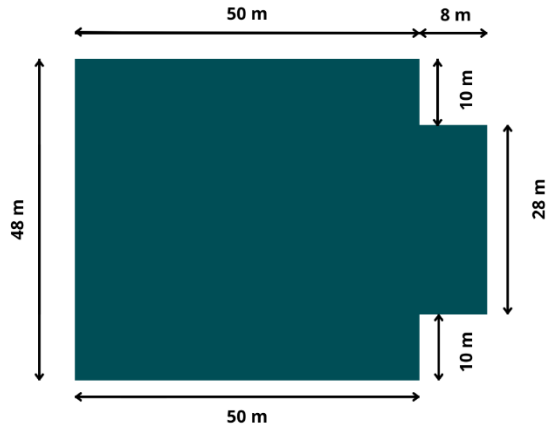
Los metros cúbicos en banca necesarios son 462.5.

Ejercicios por resolver

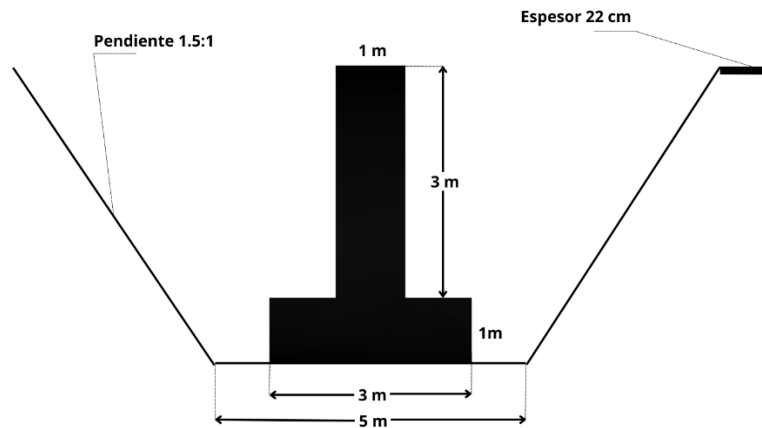
1. Complete la tabla indicando la cantidad de volumen en banca, volumen suelto y volumen compactado, además en el caso de sea necesario halle los respectivos porcentajes de expansión y compresión.

CASOS	%EXP	%COMP	VB	VS	VC
1	30%	20%	300		
2	20%	10%		380	
3			580.39	731	493
4	21%	12%			297
5	19%	22%		12000	
6			3000	3860	2400
7	43%	50%	915.4		

2. En la siguiente figura, la "huella" del edificio debe ampliarse en 1 metros para compensar la precisión y la pendiente. Suponiendo que la capa superior del suelo que se va a eliminar tiene 22 cm de grosor, determine la cantidad en metros cuadrados y metros cúbicos de la capa superior del suelo que se va a eliminar y almacenar.



Determine el volumen de metros cúbicos en banca y metros cúbicos sueltos necesarios para la base continua del edificio que se muestra en la figura anterior. En este caso, la pendiente es de 1,5:1, lo que significa que por cada 1,5 pies de elevación vertical, hay 1 pie en horizontal. El material tiene una expansión del 26 % y una contracción del 5 %.



- Usted necesita realizar un relleno de 22.300 m³ de terraplén y tiene dos opciones. La cantera A, a 6,5 km, y la cantera B, a 5,8 km. El material de A se expande un 10% y se compacta un 12%, mientras que el de B se expande un 15% y se compacta un 18%. La capa de recebo en A es de 6 m y en B de 4 m. Consulte los precios de transporte (\$ por m³/km) y de descapote por m², según el municipio del proyecto. ¿Cuál cantera es más rentable? ¿Cuál elegiría? Justifique con valores precisos, enunciando supuestos y fuentes de información.

A lo largo de esta guía se ha abordado la gestión de proyectos por partes, debido a la importancia que tiene supervisar cuidadosamente el rendimiento de las actividades individualmente. Sin embargo, el seguimiento de todo el proyecto es crucial y nunca se debe ignorar.



ANEXOS

[1] Institute, P. M. (2021). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition and The Standard for Project Management (ENGLISH). Project Management Institute.

[2] MEREDITH, J. R., & Mantel, S. J. (2010, p. 4). PROJECT MANAGEMENT: A MANAGERIAL APPROACH / (7ed.). John Wiley.

[3] Almacén de fábrica con trabajadores de robots automatizados de cinta transportadora y cajas de cartón en estantes y palets ilustración de dibujos animados vectoriales del interior de la sala de almacenamiento con línea de producción automática. Vector Gratis. (2022b, marzo 8). Freepik. <https://n9.cl/6y6tu>

[4] Tiktin, J. (1998, p. 13). Procedimientos generales de construcción: procesamiento de áridos, instalaciones de hormigonado, puesta en obra de hormigón.

[5] Geotechnical Engineering-I [Lec #9: Atterberg limits]. (2018, 23 septiembre). [Diapositivas]. SlideShare. <https://www.slideshare.net/1mirfan/geotechnical-engineeringi-lec-9-atterberg-limits>

[6] Elprojectmanager. (2016, 5 octubre). Los beneficios de la gestión con Valor Ganado EVM. El Project Manager. <https://elprojectmanager.com/2016/09/30/los-beneficios-de-la-gestion-con-valor-ganado-evm/>



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Meredith, J. R., & Mantel, S. J. (2010). *PROJECT MANAGEMENT: A MANAGERIAL APPROACH, 7TH ED.*
- [2] Institute, P. M. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition and The Standard for Project Management (ENGLISH)*. Project Management Institute.
- [3] Nunnally, S. W. (2007). *Construction Methods and Management*. Prentice Hall.
- [4] Taylor, M. D. (2003). *How to develop work breakdown structures*. <https://n9.cl/w3mdz>
- [5] Consuegra, J. G. (2002). *Presupuestos de construcción* (2a. edición) [Biblioteca de la construcción]. Bhandar Editores.
- [6] Jaramillo Botero, G. (2022). *COSTOS Y PRESUPUESTOS: APLICADOS A LA CONSTRUCCIÓN*. Mundo del Libro Editores.
- [7] Téllez Luna, M. (2010). *Finanzas de la construcción* (6a. edición) [Biblioteca de la construcción]. Bhandar Editores.
- [8] Gransberg, D. D., Popescu, C. M., & Ryan, R. (2006). *Construction Equipment Management for Engineers, Estimators, and Owners*. CRC Press.
- [9] General Electric De Colombia, S.A. (s. f.). *Movimiento de tierra: Principios básicos*.