

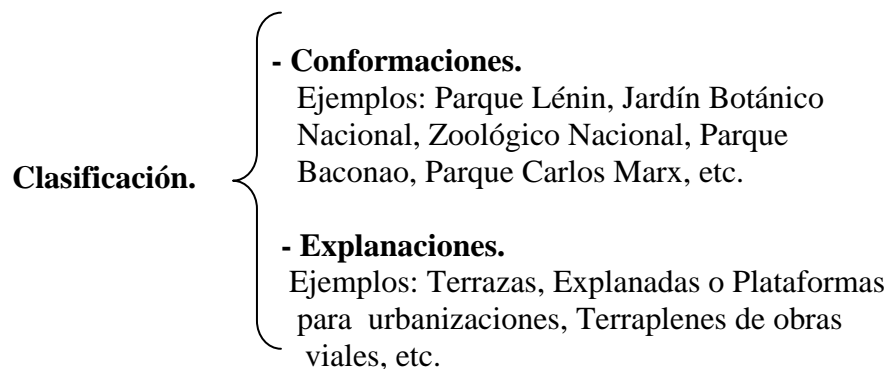
Movimiento de Tierra.

Los movimientos de tierra son actividades constructivas muy frecuentes en la ejecución de la infraestructura vial, el desarrollo urbano, social e industrial de un país. Estas actividades son de la competencia de los profesionales de la construcción y en especial de los Ingenieros Civiles, por tal razón deben ser estudiadas para ser capaces de diseñar y construir con eficiencia tales trabajos.

2.1 Generalidades.

Los movimientos de tierra son aquellas acciones que realiza el hombre para variar o modificar la topografía de un área, faja o zona, con vista a adaptarla al proyecto previamente confeccionado, generalmente de forma mecanizada, mediante el empleo de las maquinarias diseñadas especialmente con esta finalidad.

Estos se pueden clasificar en:



Conformaciones:

-En estas no se produce una modificación sustancial de la topografía, generalmente se evitan cambios bruscos, que no existan oquedades, riscos, barrancos, etc., que dificulten o pongan en peligro la vida de las personas.

Explanaciones:

- En éstas si se acometen grandes modificaciones de la topografía lo cual conlleva al movimiento de grandes volúmenes de tierras (excavaciones y rellenos).

Las explanaciones se ejecutan usando el suelo como principal material de construcción, empleando las denominadas máquinas de movimiento de tierra, las técnicas constructivas, las estrategias y medidas organizativas idóneas, que aseguren su construcción en menor plazo de tiempo posible, mínimos costos y adecuada calidad acorde con su importancia, todo lo cual será abordado en este libro.

Las Estructuras de Tierra y/o Roca.

Las explanaciones se ejecutan realizando “Estructuras de Tierra y/o Roca” (E.T.). Estas no son más que rellenos construidos con materiales térreos y/o pétreos naturales o artificiales (asimilables) compactados a máxima densidad, con el objetivo de servir de apoyo de las obras viales y estructurales.

- Clasificación de las E.T.**
- **Terraplenes y Terrazas:** empleando materiales de relleno, generalmente usando suelos naturales de calidad adecuada. (desde los A-1 hasta los A-3 según clasificación AASHTO o HRB).
 - **Escolleras:** Estructuras formadas por rocas de granulometría uniforme, y de gran tamaño.
 - **Pedraplenes:** Estructura mixta formada por rocas de granulometría distribuida y suelos seleccionados, con una estructura de esqueleto resistente.



Foto 1: Escollera o coraza del pedraplén.



Foto 2: Vista de un pedraplén con finalidad vial.

Partes de un Terraplén:

a) **En relleno:**

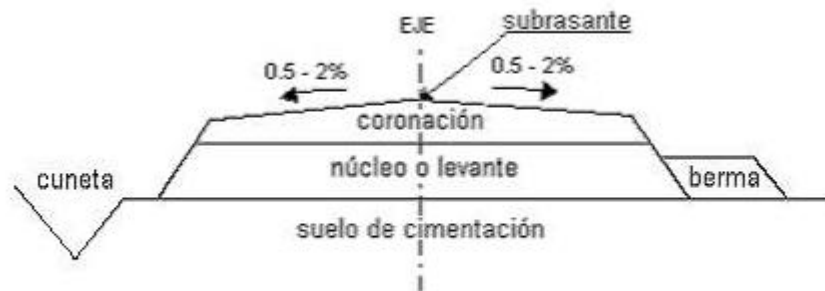


Fig. 1: Sección Transversal.

Coronación: Capa de suelo, generalmente de 0.15-0.50 m con suelos granulares de buena a excelente a buena calidad, compactados a máxima densidad.

Núcleo: Zona hecha con capas de suelos compactados seleccionados debidamente colocados y compactados a máxima densidad.

Cimiento: Es el suelo de cimentación o de soporte de la E.T. Pueden ser firmes o débiles (pantanosos) e incluso el lecho del mar.

Berma: Es un elemento estabilizador de los taludes en relleno del terraplén y protector contra las inundaciones.

b) **Secciones en Excavación y a Media Ladera.**

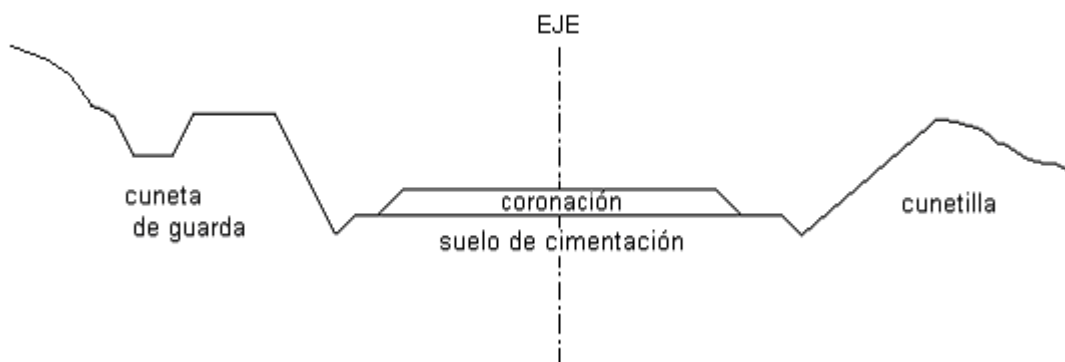
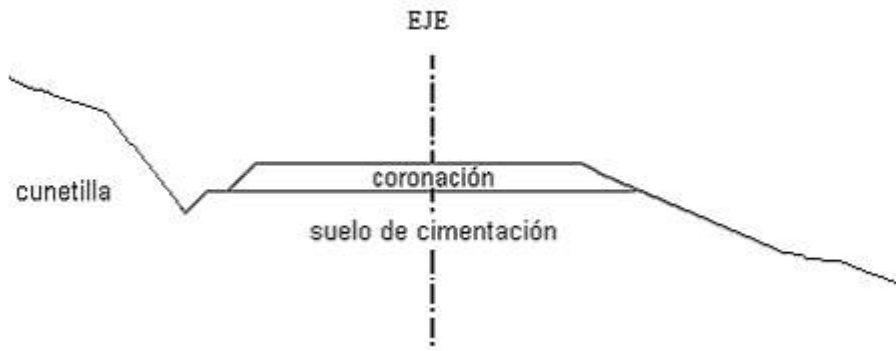


Fig. 2: Sección en corte.



**Fig. 3: Sección en Semiexcavación.
("a media ladera")**

Partes o elementos principales de una Explanada o Terraza:

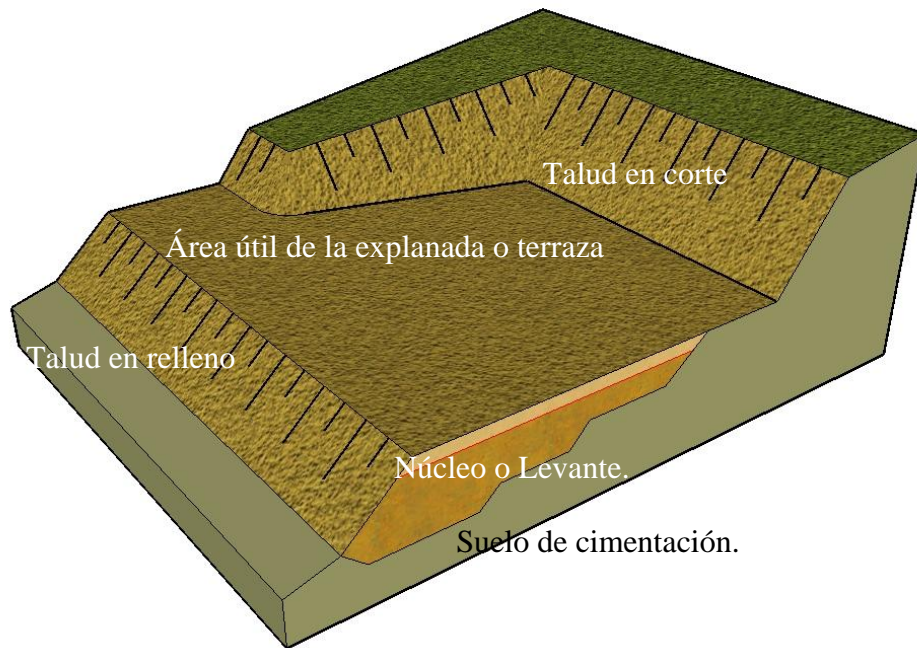
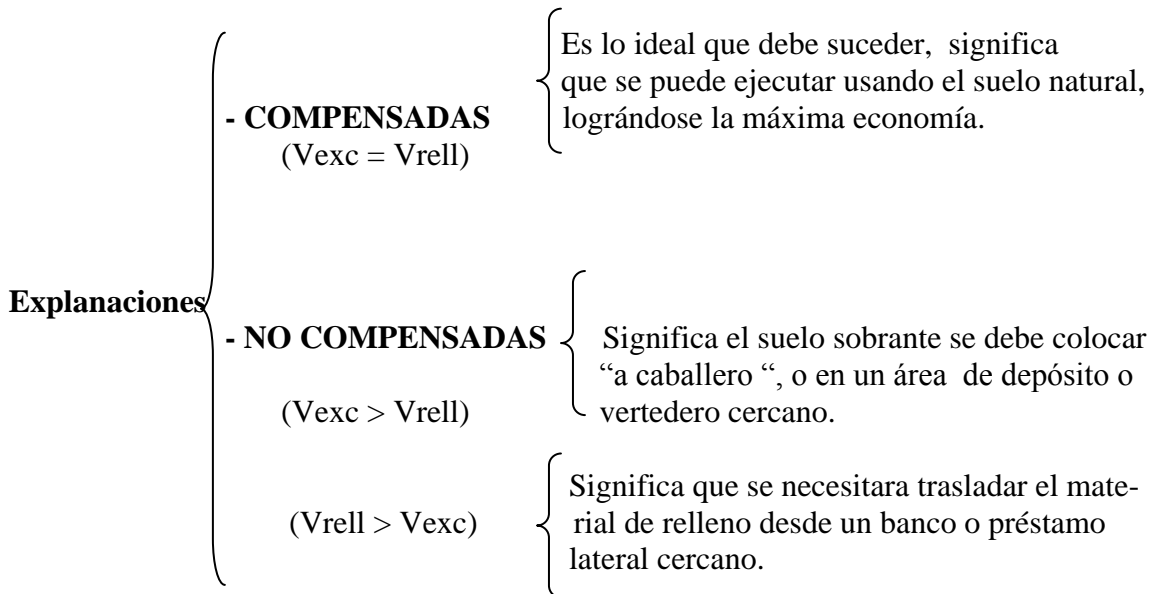


Fig. 4: Isométrico de una Explanada o Terraza.

Las Explanaciones se pueden clasificar según:

a) Su diseño:



Dado el caso de ser no compensada es preferible que suceda lo primero ($V_{exc} > V_{rell}$) para asegurar el diseño con la mayor economía posible, solo usar el segundo caso ($V_{rell} > V_{exc}$) cuando no quede otra opción, por ser la solución menos económica.

b) Por su forma y dimensiones:

-Terrazas (explanadas o plataformas) En estas el área predomina con respecto a la altura:



Foto 3: Vista aérea de una explanada.

-Terraplenes

En estos predomina la longitud con respecto al ancho y altura, como los terraplenes de carreteras, vías férreas, autopistas, pistas de aterrizaje de aeropuertos, etc.



Foto 4: Vista del terraplén de una carretera rural.

2.2 Sinopsis Histórica.

La tecnología de construcción de explanadas ha tenido una rápida transformación principalmente en los pasados siglos XIX y XX, pudiéndose definirse las siguientes etapas.

Tabla 1: Etapas de la evolución histórica de la tecnología de construcción de explanadas.

<u>ETAPAS.</u>	<u>CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:</u>
1. <u>Etapa no Tecnológica.</u> (hasta finales del pasado siglo XIX)	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de materiales naturales de todo tipo, insuficiente o nulo conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de los suelos. - Pobre calidad de los trabajos. - Corta duración o vida útil de las obras. - Predominio de la realización manual de los trabajos, lo que originaba baja productividad y gran empleo de mano de obra. - Inicios de la mecanización de la construcción. - Plazos de ejecución extensos.
2. <u>Etapa Pre-Tecnológica.</u> (Primera Mitad siglo XX)	<ul style="list-style-type: none"> -Uso de materiales naturales, seleccionando los mejores a partir del conocimiento de algunas propiedades generales de los suelos. -Se comienza a exigir aunque incipientemente la calidad de los trabajos. -Impulso al desarrollo de la mecanización de los trabajos de la construcción. -Reducción de los plazos de duración. -Mejoría en la calidad de los trabajos de movimiento de tierra.
3. <u>Era Tecnológica.</u> (Décadas del: 50-80)	<ul style="list-style-type: none"> - Se hacen y exigen investigaciones ingeniero geológicas previas para diseñar y construir obras de tierras. -Se establecen especificaciones a cumplir por los suelos a partir de conocer sus propiedades físico-mecánicas. - Se establecen exigencias en el control de la compactación de las explanaciones mejorándose la calidad. - Se produce un amplio desarrollo y uso de mecanización de la construcción. -Se reducen significativamente los plazos de duración.

4. Etapa Actual o Moderna. (Década de los años 90 hasta la actualidad)	-Rigurosos estudios previos Ingeniero- Geológicos por métodos modernos. -Máximo aprovechamiento de los materiales locales y uso de materiales reciclables. -Mecanización integral de los trabajos con máximo rendimiento de la maquinaria y por tanto con plazos de duración mínimos. -Control riguroso de la calidad de los trabajos con equipamiento moderno. -Mínima afectación al medio ambiente.
--	---

Es importante señalar que en la Etapa Actual no se niegan los avances logrados en las etapas anteriores.

2.3 Invariantes del Diseño y Construcción de Explanaciones.

Para diseñar y construir una Estructura de Tierra deben invariablemente cumplirse con los siete pasos siguientes:

I. Realización de Investigaciones Previas.

- Topográficas.
- Ingeniero - Geológicas (principales fenómenos geológicos de interés y estudio de las propiedades físico mecánicas de los suelos).
- Hidrológicas.
- Hidráulicas.
- De tránsito.
- Climatológicas.
- De impacto medio ambiental.
- Otras.

II. Proyecto Geométrico de la Explanación.

-Definición del trazado en la planta, diseño del perfil y secciones transversales, asegurando mínimo impacto ambiental y la mayor economía posible.

-Diseño del sistema de drenaje.

III. Diseño y/o Revisión Geotécnica de la Explanación.

- Aseguramiento de la debida estabilidad y resistencia (diseño y/o revisión de la estabilidad de los taludes, determinación de asentamientos en secciones críticas, diseño y control de la compactación).

IV. Preparación Técnica y Organización de los trabajos.

-Proyecto Ejecutivo de Organización de las Explanaciones.

-Presupuestación.

V. Construcción de la Obra.

-De las Explanaciones y del sistema de drenaje

-Control de la calidad de realización de los trabajos, de su avance físico y del presupuesto.

2.4 Condiciones Básicas a cumplir por las Explanaciones.

En todo el proceso anterior debe asegurarse que se cumplan las siguientes condiciones básicas:

1. Necesaria estabilidad y resistencia ante las acciones externas.
2. Aceptable deformabilidad durante el período de diseño.
3. Factibilidad y economía constructiva.

En la fase constructiva estas condiciones se logran:

- Cumpliendo con las exigencias especificadas en el proyecto ejecutivo respecto a los materiales a utilizar, calidad de la compactación y óptima selección de la maquinaria y técnica constructiva a emplear.

Si en el proyecto y la construcción se cumplen estas condiciones se logrará alcanzar:

- La mayor economía posible.

- Cumplimiento o reducción del plazo de construcción.
- Máxima durabilidad.

Cumplir con los principios antes planteados asegura la mayor eficiencia constructiva de la obra.

2.5 Problemas principales y más frecuentes de las Explanaciones.

Los principales problemas más frecuentes en el diseño tanto geométrico como geotécnico y en la construcción de las explanaciones son:

- 1- Excesivos asentamientos.
- 2- Inestabilidad ante las cargas o acciones exteriores.
- 3- Excesiva erosión debido a los agentes del intemperismo.
- 4- Deficiencias durante su construcción.

Por tal razón a la hora de diseñar y construir las explanaciones hay que asegurarse que:

- Se realice un correcto trazado en planta teniendo presente el suelo donde se asentará la misma (suelo de cimentación).
- Se disponga correctamente los suelos seleccionados tanto para la construcción del núcleo o levante, como para la construcción de la capa de coronación hasta subrasante.
- Se haga una correcta compactación de las capas de suelo en la construcción de rellenos antes mencionados.
- Se diseñe y construya un eficiente Sistema de Drenaje (superficial y soterrado) que minimice los efectos erosivos del agua.

Los efectos negativos del agua (principal enemiga de las explanaciones) se atribuyen a:

- Los cambios físicos y geotécnicos que se experimenten en las laderas de los tramos en cortes y los taludes de las explanaciones.
- La reducción de la resistencia a cortante del suelo debido a la disminución de la presión de poros.
- Incremento del peso del suelo en los taludes de los tramos en corte y de relleno, lo cual provoca un aumento del esfuerzo cortante de la posible superficie de falla de los mismos.
- Al aumento de los esfuerzos cortantes debido al incremento de las fuerzas de filtración.

Por tales razones debe prestársele siempre la máxima prioridad e importancia al diseño y oportuna construcción oportuna del Sistema de Drenaje de las Explanaciones.

Los principales y más frecuentes problemas estructurales, desde el punto de vista de su diseño geotécnico, así como constructivo se muestran de manera resumida en la siguiente tabla:

Tabla 2: Problemas más frecuentes que se presentan en las partes o elementos de una explanación.

Parte o elemento.	Problemas Estructurales.	Problemas constructivos.
<u>Suelo de Cimentación.</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Excesiva consolidación -Susceptibilidad a cambios de volumen. -Insuficiente capacidad de carga (zonas pantanosas costeras plataforma insular etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> - Complejidad ejecutiva cuando hay presencia de roca o de cieno. - Necesidad de empleo de equipos especiales y técnicas constructivas adecuadas.
<u>Núcleo (o levante) en Excavación.</u>	<ul style="list-style-type: none"> -Inestabilidad de los taludes, hinchamiento y/o contracción de suelos. - Pérdida de capacidad soportante por presencia de agua (manantiales, filtraciones, etc). 	<ul style="list-style-type: none"> -Dados por mala selección de equipos acorde con el tipo de suelo a trabajar. -Mala ejecución del sistema de drenaje. -Mayor complejidad en el caso de realizar los trabajos de voladura.
<u>Núcleo (o levante) en relleno o terraplén.</u>	<ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad de taludes en terraplenes altos por deficiente diseño o ejecución (compactación) -Excesivos asentamientos originados por consolidación. - De grandes compresiones por los terraplenes altos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mala elección del material de relleno. -Incorrecta disposición de los suelos o materiales al ejecutar los rellenos. -Definir compactación, sobre todo en los terraplenes de aproche. -Mala ejecución del sistema de drenaje. -Insuficiente control de la calidad de los trabajos, principalmente de la compactación de rellenos.

2.6 Paradigmas.

Precisamente las condiciones básicas a cumplir por una explanación antes relacionadas deben convertirse en los paradigmas a lograr en su proyecto y construcción.

Ahora bien ¿Qué medidas deben adoptarse para cumplir con dichos paradigmas?, estas deben ser las siguientes:

1. Lograr la necesaria estabilidad y resistencia ante las acciones externas:

Para ello hay que efectuar la:

- Correcta compactación de los rellenos.
- Ejecución oportuna del sistema de drenaje superficial y/o soterrado.
- Correcta construcción de taludes en corte y relleno.
- Correcta disposición de los suelos y/o rocas en las partes de la explanación.

2. Lograr la adecuada deformabilidad:

Para lo cual hay que hacer:

- Selección y disposición idónea de los materiales (suelos) a utilizar.
- Correcta compactación de los rellenos de las explanaciones.
- Determinación y control de los asentamientos y su corrección en caso necesario.

3. Garantizar la factibilidad y economía constructiva:

Lo que se logra mediante:

- Selección de las técnicas constructivas idóneas que aseguren la ejecución en tiempo y con calidad de las explanaciones a realizar.
- Distribución óptima de las masas de suelo a mover.
- Selección y uso de la maquinaria idónea que asegure máximos rendimientos y mínimos costos.
- Disminución al mínimo de las afectaciones al medio ambiente.

2.7 Impactos Directos de las Tecnologías Constructivas en el Medio Ambiente.

Las explanaciones son obras civiles que impactan negativamente el medio ambiente natural, por lo que tanto en la fase de diseño como de su construcción deben conocerse que factores se afectan, cuales son las principales acciones impactantes, así como algunos de los efectos de dichos impactos, con la finalidad de mitigar los mismos con acciones correctoras tanto en su diseño como en su construcción

En la siguiente tabla se relacionan los factores afectados, las acciones impactantes y los impactos directos al emplear la tecnología mecanizada de construcción de las explanaciones.

Tabla 3: Impactos directos de las tecnologías constructivas en el medio ambiente.

Factor afectado.	Acciones impactantes.	Impactos directos.
Suelo.	Movimientos de tierras. Usos de equipos pesados de construcción. Investigaciones Ingeniero geológicas. Apertura de préstamos o canteras.	Destrucción de la capa vegetal. Compactación de suelos. Contaminación ambiental. Erosión. Creación de barreras físicas.
Vegetación.	Movimientos de tierra y de equipos pesados. Generación de polvo atmosférico en la obra.	Destrucción directa de la flora y la vegetación. Afectaciones a las especies endémicas y protegidas por destrucción y contaminación del hábitat de la biodiversidad.
Agua.	Rellenos de acuíferos. Afectaciones y modificaciones al drenaje natural. Vertido de sustancias nocivas y aguas albañales.	Contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. Inundaciones. Destrucción y desvíos de acuíferos. Disminución del manto freático. Creación de barreras físicas.
Paisaje.	Apertura de préstamos en canteras. Construcción de explanaciones. Diseños urbanos y arquitectónicos ajenos al sitio.	Afectaciones y pérdida del paisaje natural en la vida silvestre. Afectaciones al patrimonio natural y cultural. Cambios negativos en la estructura paisajística.
Atmósfera.	Uso de las máquinas de movimiento de tierra. Construcción de explanaciones. Apertura de canteras. Voladuras.	Contaminación por gases, polvo y ruido. Modificación del microclima. Modificación del régimen de vientos, alteración de la dinámica eólica de las costas. Afectación del bienestar humano.
Socio cultural.	Construcción de explanadas y	Alteración y pérdida de la

	obras viales en zonas donde se afecta el hábitat de los pobladores o sitios de interés histórico. Modelos de desarrollo arquitectónicos y urbanos inadecuados.	identidad cultural, las costumbres y modos de vida tradicionales. Modificaciones en la accesibilidad a determinadas áreas o zonas. Efectos negativos sobre el patrimonio cultural construido.
--	--	---

Como puede observarse la construcción de explanaciones, el empleo de las maquinarias de la construcción y las obras viales tienen un significativo impacto sobre el medio ambiente, ya que las mismas:

- 1- Crean el efecto barrera (dividen propiedades, varía la permeabilidad del suelo, afecta el drenaje, etc.).
- 2- Ocupan gran espacio (se ocupa un área considerable, toda lo que ocupa la faja de la vía, la que ocupan los préstamos).
- 3- Se producen ruidos indeseables o dañinos durante su construcción y posterior explotación.
- 4- Destrucción o modificación de sitios de interés histórico, cambios climáticos, etc.

Sin embargo para lograr el desarrollo socioeconómico no hay otra opción que construir las. La solución consiste en disminuir al mínimo las afectaciones sobre el medio ambiente.

2.7.1 Principales medidas para minimizar el Impacto Medio Ambiental en la Fase Constructiva.

Estas estarán encaminadas a reducir en la mayor medida posible el impacto en cada uno de los factores afectados antes expresados:

1- Suelo:

- Realizar el descortezado de la base de las explanaciones según el proyecto, para evitar la eliminación innecesaria de la capa vegetal.
- Distribuir racionalmente la masa de los suelos a mover, asegurando el máximo de compensación posible, ubicando convenientemente el material sobrante de tramos o zonas en corte o excavación (minimizar movimiento de tierra y afectaciones al medio ambiente con material sobrante o indeseable).
- Emplear únicamente la faja de emplazamiento establecida en el proyecto para la construcción de las explanaciones.

2- Vegetación:

- Realizar el desmonte o tala de árboles y desbroce de la vegetación imprescindible, solo dentro de los límites de la faja de emplazamiento establecida en el proyecto de la explanación.
- Minimizar la apertura de trochas, caminos de acceso provisionales hasta la obra y hacia los préstamos.
- Recubrir siempre que sean factible los taludes de las explanaciones con capa vegetal.
- Posibilitar con un racional acarreo y disposición el uso de árboles maderables talados.

3- Agua:

- Evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas al explotar las maquinarias de construcción.
- Construir correctamente el sistema de drenaje proyectado y mejorarlo si es posible durante su construcción.
- Evitar destrucción y desvíos de los acuíferos en la construcción de las explanaciones.

4- Paisaje:

- Ubicar correctamente los préstamos laterales, no tan cercanos que afecten el entorno de manera evidente y a la vez no tan distante de la obra para no elevar los costos de transportación.
- Explotar correctamente los préstamos laterales, usando el área imprescindible que asegura los volúmenes de tierra necesarios.
- Adoptar cuanta medida contribuye al cuidado del paisaje durante la fase constructiva.

5- Atmósfera:

- Usar las técnicas de voladuras de tierra y/o roca solo en casos estrictamente necesarios.
- Mantener un buen estado técnico de funcionamiento el parque de máquinas disponible para ejecutar los diferentes trabajos, para reducir así en la mayor medida posible el escape de gases, derrame de combustibles y lubricantes, así como la generación de ruidos innecesarios.
- Evitar o disminuir el mínimo de creación de nubes de polvo (polvaredas) al construir explanaciones, mediante riego de agua, riegos asfálticos u otras medidas.

2.8 Principios de Diseño y Construcción de Explanaciones.

Para lograr un racional diseño y eficiente construcción de las explanaciones se deben cumplir los siguientes principios:

- 1- Máxima compensación de volúmenes de tierra con materiales locales.
- 2- Óptima distribución de las masas de suelo a mover (mínima cantidad de movimientos a mínimas distancias de recorrido).
- 3- Selección idónea y empleo racional de la maquinaria en su ejecución, que asegure máximos rendimientos.
- 4- Correcta organización de los trabajos que propicie la conclusión en tiempo o en el menor plazo posible de éstos.
- 5- Adecuada calidad en las labores acorde con la importancia de la obra.
- 6- Asegurar el mínimo impacto ambiental.

Todo lo anterior conlleva a que los plazos de duración y los costos de construcción sean los menores posibles, lo que garantiza alcanzar la máxima eficiencia constructiva.

2.8.1 Etapas y Actividades Componentes.

En la construcción de las explanaciones se deben desarrollar tres etapas que son las siguientes:

1. Etapa preliminar o preparatoria.
2. Etapa fundamental (o de actividades gruesas).
3. Etapa final o de terminación.

1- Etapa preliminar:

Contempla las actividades de: replanteo preliminar, desaobstaculización, demoliciones, construcción de caminos provisionales de acceso a la obra o a los préstamos, apertura de préstamos laterales, desmonte o tala de árboles, desbroce de vegetación y arbustos.

2- Etapa fundamental o de actividades gruesas:

Replanteo definitivo, descortezado o eliminación de la capa vegetal en la faja o área de la obra (incluye capa de transición si es necesario), excavaciones para la construcción del sistema de drenaje, compensaciones longitudinales, compensaciones transversales, excavaciones de material indeseable o sobrante en tramos en corte y su acarreo a zonas de depósito o vertederos, construcción de terraplenes con tiro desde préstamos laterales.

3- Etapa final o de terminación:

Perfilados de taludes en corte, reapertura y perfilado de cunetas, canales, etc. que conforman el sistema de drenaje, perfilado de explanadas, perfilado de la corona de los terraplenes, recubrimiento de taludes con capa vegetal, restauración de las afectaciones al medio ambiente.

Definición de Actividades Simples y Complejas:

De un análisis a lo antes expresado puede afirmarse que existen actividades simples y complejas

Actividad Simple: Se definirá así a aquella de fácil o simple complejidad de ejecución, generalmente conformada por una operación y donde se emplea generalmente un solo equipo de construcción. Ejemplos de estas actividades son:

Desmonte y desbroce (actividades preliminares); perfilado de taludes y explanadas (actividades de terminación)

Actividad Compleja: Como indica su nombre es aquella que posee de mediana a gran complejidad constructiva, donde para acometerlas hay que realizar varias operaciones y emplear generalmente conjuntos de máquinas para ejecutarlas. Ejemplos de actividades complejas son:

- Todas las actividades gruesas (principalmente los rellenos o terraplenes y las compensaciones).
- Excavaciones en tramos en corte y disposición del material sobrante o indeseable a caballero o en vertedero o zonas de depósito.
- Recubrimiento de taludes con capa vegetal (actividad de terminación).

2.9 Estados de los Suelos: Naturales, Esponjado, Compactado. **Transformación de un estado a otro.**

2.9.1 Estado natural: (también denominado sobredesmonte) es aquel suelo que se encuentra en su estado primitivo, antes de ser excavado, disgregado o removido. El volumen del suelo calculado en estas condiciones es llamado: volumen natural o sobredesmonte. Este es el volumen que se debe utilizar para cuantificar y pagar el movimiento de tierra realizado, ya que solo mediante su determinación por secciones transversales y longitudinales periódicamente, es que se puede conocer realmente el volumen de material que será excavado. Este se expresa en m³ naturales, ejemplo: todo tipo de excavaciones en explanaciones.

2.9.2 Estado esponjado: es aquel que por efecto de la excavación ha sido disgregado, experimentándose un aumento de volumen del mismo, al aumentar su volumen de huecos, es decir, las distancias entre las partículas constituyentes. El volumen así determinado se denomina: Volumen Esponjado y se expresa en m³ esponjados, ejemplo: el suelo que se traslada sobre máquinas de transporte, el contenido en los cubos, cucharas o palas de las maquinarias, etc.

2.9.3 Estado compactado: es aquel sobre el cual se ha ejercido una compresión tal que se logra un incremento en su peso específico, es decir, el suelo este más compacto que en su estado original. Al material en ese estado se denomina suelo compactado y su unidad de medida es el m³ compactado.

En general el volumen compactado es menor que el natural y mucho menor que el esponjado. Es evidente que entre los tres volúmenes existe una relación, la cual se explica seguidamente. No obstante antes se darán a conocer algunos conceptos de amplia utilización en los movimientos de tierra que son los siguientes:

2.9.4 Material “a caballero:” cuando la cantidad de material a excavar es superior a la de rellenar, es necesario disponer del material en exceso a la disposición en las áreas aledañas a la obra (en forma de pila, cordón lateral) a dicha disposición del material sobrante se denomina: “material a caballero” y se expresa en m³ esponjados.

2.9.5 Material compensado: es aquel suelo cuyo volumen excavado en una explanación servirá para rellenar otra zona de la propia obra de tierra, siendo compactado a máxima densidad, se expresa en m³ compactados.

2.9.6 Material de relleno o préstamo: cuando no puede producirse una compensación de volúmenes, por no alcanzar el material natural o no tener las condiciones adecuadas, surge la necesidad de obtener para ejecutar el relleno un material o suelo en una zona distante del área de la obra; al mismo se le denomina material de préstamo o de relleno y a la zona donde se toma préstamo lateral, cantera de préstamo o simplemente préstamo (en otros países del área es conocido también por banco de materiales).

2.9.7 Material de mejoramiento o rocoso: su definición es similar a la anterior solo difiere en que este material tiene un alto peso específico y posee de buenas a excelentes características para su empleo como relleno, por lo que preferiblemente se utiliza en las capas de coronación de las explanaciones para hacerlas más resistentes. Se extrae de los préstamos y tramos en corte de las vías.

2.9.8 Transformación entre los diferentes estados según el tipo de material.

Tal como se ha afirmado existe una relación entre los volúmenes de los materiales o suelos en sus tres estados. Esa relación puede obtenerse de la siguiente tabla, la cual aparece en la Norma de Trabajo: Rendimiento de Maquinaria de Construcción, del MICONS, de 1978 (vigente actualmente en Cuba) en la cual se subdivide en 4 grupos o clases de suelo y se plantean los valores medios de los coeficientes que nos ayudan a determinar la relación entre los volúmenes de los estados de los suelos. Esta se muestra en la Tabla 2 del Anexo.

2.10 Cálculo de Volúmenes de Trabajo.

Es una de las acciones más frecuentes e importantes que realiza un Ingeniero Civil, pues de su exactitud dependerá en gran medida las programaciones y los presupuestos de las obras a construir.

Consiste en determinar la cantidad o magnitud de los diferentes trabajos a realizar para la construcción de una obra, en nuestro caso para la construcción de las explanaciones.

En las explanaciones se emplean variadas unidades de medidas (UM) como son: m, m² y m³.

Tabla 4: Unidades de Medida a emplear para las distintas actividades:

<u>No.Ord en.</u>	<u>Denominación de la labor o actividad.</u>	<u>U.M.</u>
1	Replanteo definitivo.	m (lineales)
2	Demolición de elementos estructurales del área o faja de la obra.	m ³
3	Desmante o tala de árboles.	u (Ø ≥ 0,30m)
4	Desbroce de vegetación.	m ²
5	Descortezado o eliminación capa vegetal.	m ³ (naturales)
6	Excavaciones en explanaciones (con o sin transporte horizontal)	m ³ (naturales)
7	Excavaciones del sistema de drenaje (cunetas, canales, etc.)	m lineales o m ³ nat.
8	Compensación de tierras (longitudinales y transversales).	m ³ (compactados)
9	Construcción de rellenos en los terraplenes, terrazas, etc., desde préstamos laterales.	m ³ (compactados.)
10	Recubrimiento de taludes con capa vegetal.	m ³ (compactados)
11	Perfilado de taludes en corte y relleno.	m ²
12	Perfilado de explanadas.	m ²

2.10.1 Métodos de Cálculo de Volúmenes de Movimiento de Tierra.

Estos se clasifican en:

1. Métodos Exactos.
2. Métodos Aproximados.

Como es conocida la “exactitud” de los métodos de cálculo en las actividades de movimiento de tierra es un concepto relativo, generalmente la magnitud absoluta del error es despreciable cuando la comparamos con los enormes volúmenes de trabajo, es decir, el error relativo (ΔR) en general es despreciable, no obstante existe la clasificación anterior ajustada a las etapas de proyecto.

Métodos Exactos:

Método del Prismoide: Recibe este nombre ya que la forma del cálculo que se forma entre dos secciones transversales consecutivas se asemeja a un Prismoide, es decir, un sólido limitado por dos caras planas y paralelas (bases) y por una superficie reglada engendrada por una recta que se apoya en ambas caras.

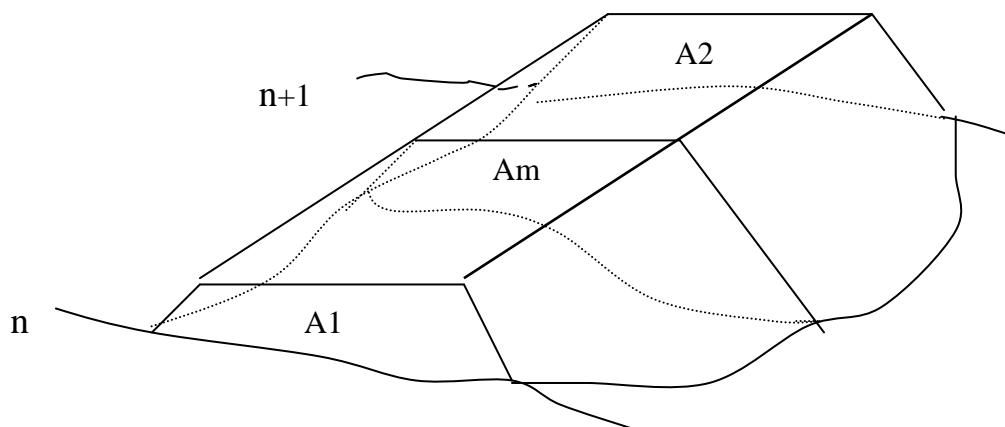


Gráfico 1.

En este caso la fórmula del Prismoide será:

$$V = d/6 (A_1 + 4A_m + A_2) \text{ , m}^3$$

donde:

- d: distancia entre las bases, en metros.
- A_1 y A_2 : Áreas de las bases n y n + 1
- A_m = Área media.
- (Las áreas deben expresarse en m^2).

La inexactitud en los cálculos se origina al determinar las magnitudes de las Áreas de las bases del Prismoide debido a la forma irregular de la superficie del terreno, por tal razón debe calcularse las magnitudes de las áreas lo más exacto posible, para ello se recomienda:

- En cálculos preliminares al nivel de Anteproyecto:

⇒ Determinar el área por el método gráfico aproximado denominado: Método del Compás.

- En cálculos definitivos, en el ámbito del Proyecto Ejecutivo:

1. Asignación de figuras geométricas conocidas (trapecios, rectángulos, triángulos, etc.) a las áreas de las secciones transversales, para sumándolas obtener el área total.

2. Método del Planímetro: Determinar áreas de las secciones representadas a escala (1:100 ó 1:200 generalmente) usando este instrumento.

2.10.2 Método de la Media de las Secciones Extremas:

Si las generatrices del Prismoide son paralelas a un plano director, es decir, si entre dos secciones transversales no se experimenta un brusco cambio del terreno, se cumplirá que el área media es:

$$A_m = \frac{A_n + A_{n+1}}{2} = \frac{A_1 + A_2}{2}$$

luego: $V = \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) \cdot d \quad ,m^3$ (Expresión Básica del método)

El error cometido con relación a la fórmula del Prismoide será:

$$\Delta_1 = d/2 (A_1 + A_2) - d/6 (A_1 + A_2 + 4A_m) = d/3 (A_1 + A_2 - 2A_m)$$

Este error puede ser positivo o negativo según el signo del término $(A_1 + A_2 - 2A_m)$.

Los cálculos hechos por el método aproximado de la Media de las Secciones Extremas o simplemente Método de las Secciones tendrán suficiente exactitud, siempre y cuando la diferencia entre las áreas de las secciones extremas no sea tan grande. Si esta situación persiste que es lo más usual en gran parte del trazado de la vía y si se considera que el error en unos casos es positivo y en otro podrá ser negativo, se produce una compensación parcial de los errores, lo cual contribuye a la exactitud y a la obtención de magnitudes pequeñas del error relativo.

2.10.3 Método de las Secciones:

En este se presentan dos casos básicos:

a) Cuando dos secciones transversales consecutivas (en excavación o en relleno o terraplén) el volumen entre ambas secciones se calcula fácilmente por:

$$V = \left(\frac{A_e + A_r}{2}\right) \cdot d, \text{ m}^3$$

b) Cuando una sección está en excavación y la otra sección consecutiva está en relleno o terraplén:

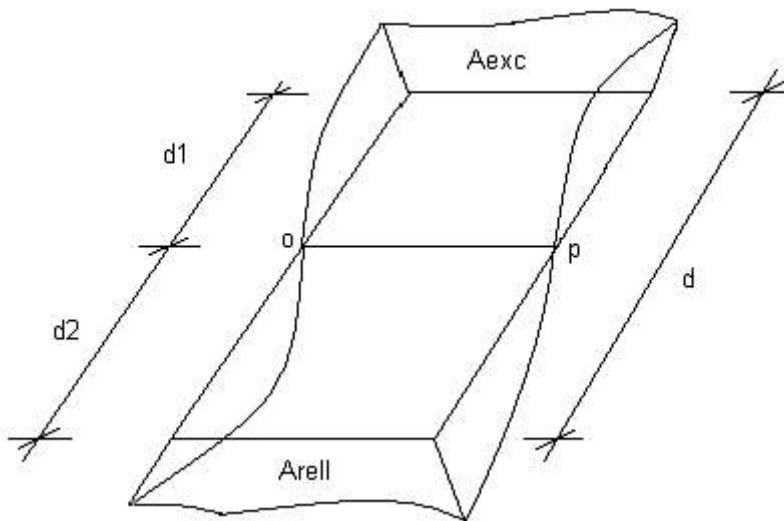


Gráfico 2.

En este caso:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{A_r}{A_e}, \text{ como: } d = d_1 + d_2$$

$$\text{entonces: } d_1 = d \frac{A_r}{A_e + A_r}$$

$$d_2 = d_2 \frac{A_{er}}{A_e + A_r}$$

Como la línea o-p (línea cero o línea donde se produce el cambio de excavación a relleno) posee área nula:

$$V_{rell} = d_1 \left(\frac{A_r + 0}{2}\right) = d_1 \frac{A_r}{2}$$

$$V_{exc} = d_2 \left(\frac{A_e + 0}{2} \right) = d_2 \frac{A_e}{2}$$

Sustituyendo y efectuando con los valores parciales de las distancias d_1 y d_2 :

$$V_{rell} = d/2 \frac{A_R}{A_e + A_r} \quad m^3 \text{ compactados}$$

$$V_{exc} = d/2 \frac{A_e}{A_e + A_r} \quad m^3 \text{ naturales}$$

Ahora bien, cuando ambas secciones transversales consecutivas están a media ladera o una a media ladera y la otra en excavación o relleno el procedimiento a seguir genera un nuevo caso (caso c).

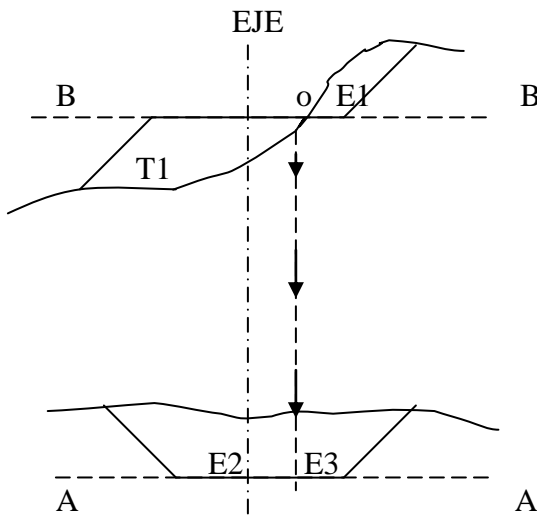


Gráfico 3.

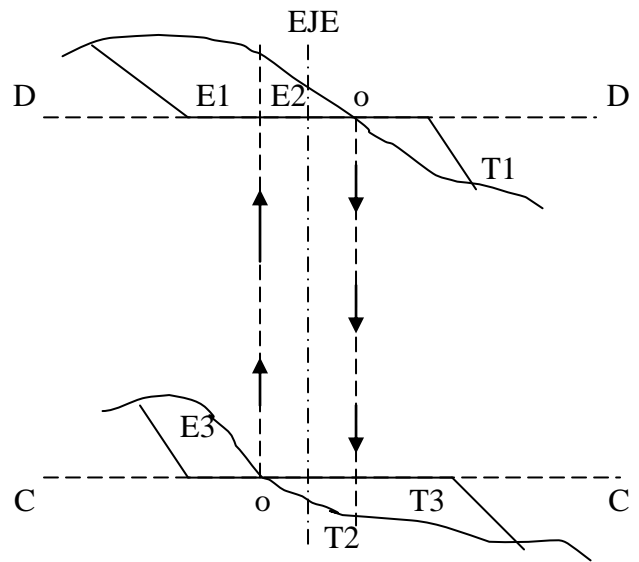


Gráfico 4.

En este caso se realiza una “Construcción Auxiliar” subdividiéndose las áreas de las secciones a partir de los puntos de cambio de excavación a terraplén, para así poder aplicar las expresiones básicas explicadas (casos incisos a y b).

2.10.4 Ejemplos:

1. Determine los volúmenes de movimiento de tierra entre las secciones A-A y B-B caso: c), antes explicado.

Solución:

Como se aprecia hacia la izquierda del punto de cambio las áreas están totalmente en excavación y totalmente en relleno, luego estamos en presencia del caso b) por lo que hay que emplear las siguientes expresiones:

$$V_{exc1} = d/2 \frac{A_e}{A_e + A_r} = 20/2 \frac{E_2}{E_2 + T_1} = \frac{10 E_2}{E_2 + T_1}, \text{ m}^3 \text{ naturales}$$

$$V_{rell} = d/2 \frac{A_r}{A_e + A_r} = 20/2 \frac{T_1}{E_2 + T_1} = \frac{10 T_1}{E_2 + T_1}, \text{ m}^3 \text{ compactados}$$

A la derecha del punto ambas áreas están en excavación, luego se estará en presencia del caso a) donde la expresión a emplear será:

$$V_{exc2} = \left(\frac{E_1 + E_3}{2}\right)d = 20 \left(\frac{E_1 + E_2}{2}\right), \text{ m}^3 \text{ naturales}$$

Luego, el volumen total de excavación y relleno será:

$$\text{Luego } V_{totalexc} = V_{exc1} + V_{exc2} = \frac{10 E_2}{E_2 + T_1} + 20 \left(\frac{20 E_1 + E_2}{2}\right)$$

Respuesta:
$$V_{rell} = \frac{10 T_1}{E_2 + T_1} \text{ m}^3 \text{ compactados}$$

2. Volúmenes de excavación y relleno entre las secciones C-C y D-D.

Procediendo de forma similar, trabajando de izquierda a derecha para llevar a las expresiones básicas conocidas: casos a) y b), los volúmenes serán:

Hacia la izquierda
$$V_{exc1} = \left(\frac{E_1 + E_3}{2}\right)20, \text{ m}^3 \text{ naturales}$$

Zona central: $V_{exc2} = 20/2 \frac{(E_2)^2}{E_2 + T_2}$, m^3 naturales

$$V_{rell1} = 20/2 \frac{(T_2)^2}{E_2 + T_2}, m^3 \text{ compactados}$$

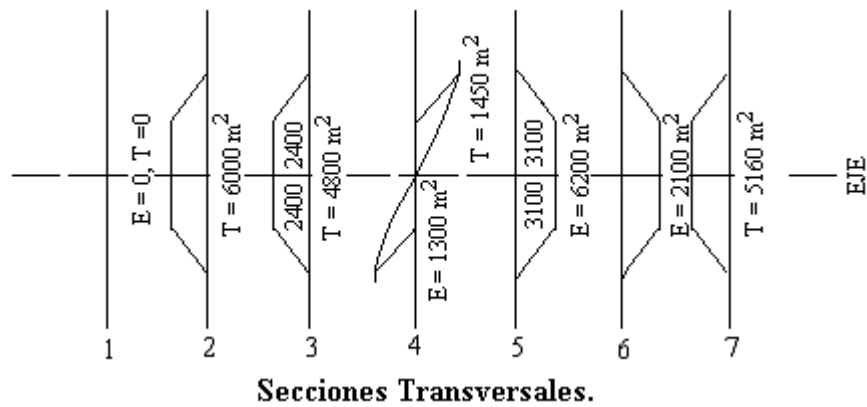
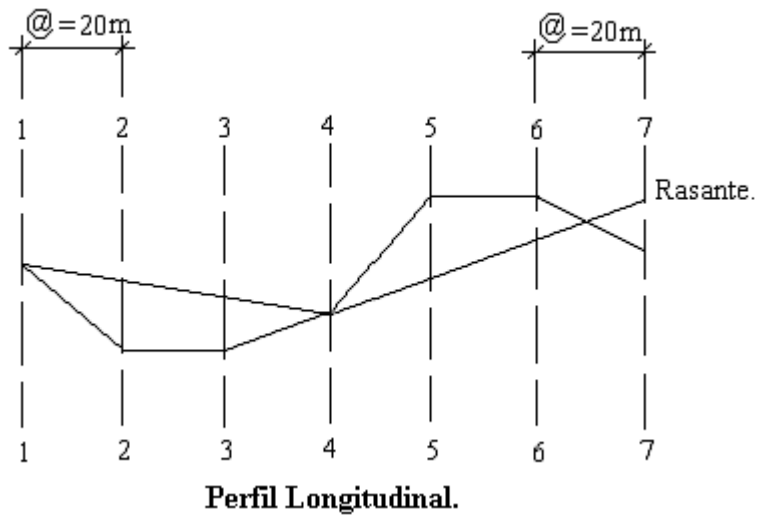
Hacia la derecha: $V_{rell2} = \left(\frac{T_1 + T_3}{2} \right) 20$, m^3 compactados

Entonces los Volúmenes Totales son:

$$V_{t \text{ exc}} = V_{exc1} + V_{exc2}, m^3 \text{ naturales}$$

$$V_{t \text{ rell}} = V_{rell1} + V_{rell2}, m^3 \text{ compactados}$$

2. Se ha proyectado geoméricamente el terraplén de una carretera, un tramo posee el siguiente Perfil Longitudinal y las siguientes secciones transversales:



Considere un suelo rocoso excelente como material de relleno. Determine:

- Los volúmenes de movimiento de tierra a realizar.
- ¿Se logra la compensación de volúmenes en dicho tramo?

Solución:

a) Datos:

- áreas secciones transversales y tipo de suelo.

Cálculo de volúmenes.

$$\text{Secciones 1-1 hasta 2-2: } V_{\text{rell}} = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot l = \left(\frac{0 + 6000}{2} \right) \cdot 20 = 60000 m^3 \text{ comp.}$$

$$V_{2-3} = \left(\frac{A_2 + A_3}{2} \right) \cdot d = \left(\frac{4800 + 6000}{2} \right) \cdot 20 = 108000 m^3 \text{ comp.}$$

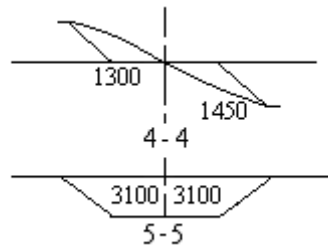
$$V_{3-4}: V_{exc} = \frac{E_4^2}{E_4 + T_3/2} \cdot \frac{20}{2} = \frac{1300^2}{1300 + 2400} \cdot 10 = 4567 m^3 nat.$$

$$V_{terr} = \left(\frac{T_3 + T_4}{2} \right) \cdot d = \frac{2400 + 1450}{2} \cdot 20 = 38500 m^3 comp.$$

$$V_{terr} = \frac{\left(\frac{T_3}{2} \right)^2}{E_4 + \left(\frac{T_3}{2} \right)} \cdot \frac{d}{2} = \frac{400^2}{1300 + 2400} \cdot 10 = 15567 m^3 comp.$$

$$V_{terr.total} = 38500 + 15567 = 54067 m^3 comp.$$

V₄₋₅ :



$$V_{E1} = \left(\frac{1300 + 3100}{2} \right) \cdot 20 = 44000 m^3 nat.$$

$$V_{E2} = \left(\frac{100^2}{1450 + 3100} \right) \cdot 10 = 21120.8 m^3 nat.$$

$$V_{T1} = \left(\frac{450^2}{1450 + 3100} \right) \cdot 10 = 4620.8 m^3 comp.$$

$$V_{exc.total} = 65120.8 m^3 nat.$$

$$V_{5-6}: E_5 = 6200 m^2 \text{ Ambas en excavación. } V_{exc} = \left(\frac{6200 + 2100}{2} \right) \cdot 20 = 83000 m^3 nat.$$

$$E_6 = 2100 m^2$$

$$V_{6-7}: A_6 = 2100 m^2 \text{ (excavación)} \quad V_{exc} = \frac{100^2}{2100 + 5160} \cdot 10 = 6074.3 m^3 nat.$$

$$A_7 = 5160 m^2 \text{ (relleno)} \quad V_{rell} = \frac{160^2}{2100 + 5160} \cdot 10 = 36674.3 m^3 comp.$$

Resumiendo y organizando los cálculos en la Tabla Resumen y sumando para obtener Vol. totales excavación y rellenos.

Estacionado.	Areas (m ²)		Volúmenes (m ³)		Observaciones.
	Aexc.	Arell.	Vol.exc.	Vol.rell.	
1	0	0	-	-	Sección de cambio.
2	-	6000	-	60000	m ³ comp.
3	-	4800	-	108000	m ³ comp.
4	1300	1450	4567	54067	nat y comp. respectivam.
5	6200	-	65120.8	4620.8	nat y comp. respectivam.
6	2100	-	83000	-	m ³ nat.
7	-	5160	6074.3	36674.3	nat y comp. respectivam.
Σ			158762.8 m ³ nat.	263362.1 m ³ comp.	

b) ¿Se logra la compensación de volúmenes en dicho tramo?

Para contestar esta interrogante hay que compensar ambos volúmenes pero en el mismo estado, llevando de natural a compactado.

$$158762.1 \cdot f_{N.comp.} = 158762.1 \cdot 0.90 = 142885.8 m^3 comp.$$

$f_{N.comp.}$ = Tabla en Norma rendimiento de Equipos o Libro ‘‘Fund. de la Const.’’, Francisco

Fernández, pág 91.

$$\Delta = \left(\frac{V_{mayor} - V_{menor}}{V_{mayor}} \right) \cdot 100$$

$$\Delta = \frac{26332.1 - 142885.8}{2633.62.1} \cdot 100$$

Rta/ No existe compensación el vol. relleno < vol. excavac.

2.10.5 Métodos Aproximados. Método de la Cota Roja Media.

Dado el perfil longitudinal de un tramo de longitud “L” de un terraplén:

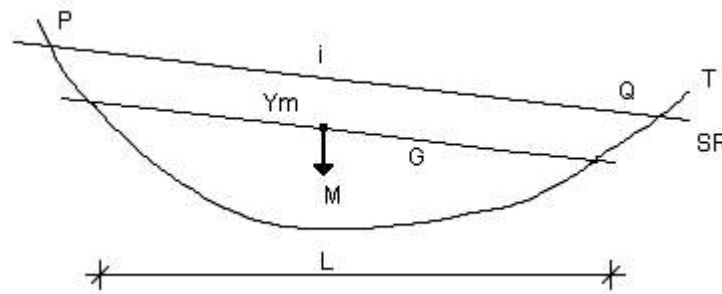


Gráfico 5.

Determinando la altura media y_m del perfil, todo en excavación o todo en relleno, de forma gráfica o analítica entonces:

$$S = y_m \cdot L$$

donde: S = área de la superficie PMQ. Suponiendo el terreno horizontal para cada una de las secciones transversales, entonces el área media de la sección en la cota roja y_m será:

$$A_m = y_m (y_m / i + 2a)$$

Entonces el volumen del sólido del terraplén entre las secciones transversales consideradas P y Q será:

$$V = A_m \cdot L = (y_m / i + 2a) y_m \cdot L = S (y_m / i + 2a)$$

donde:

A_m : área de la sección transversal media o de cota roja)

Entonces:

$$V = L \left[\left(\frac{y_m}{i} + 2a \right) y_m \right]$$

Como se aprecia, consiste esencialmente en determinar los volúmenes de cada tramo en corte y cada tramo en relleno, multiplicando el área de la sección transversal media de dichos tramos, por las longitudes de los mismos. Este procedimiento no brinda gran precisión en los cálculos, por todo lo antes asumido, por tal razón se debe usar en tanteos preliminares al nivel de anteproyectos.

En la actualidad estos cálculos se efectúan con auxilio de programas de computación como el Soft.Car, lo cual agilizan grandemente los mismos, pero los Ingenieros Civiles deben saber realizar los mismos de forma manual con la mayor exactitud posible, por ser tan necesarios en la etapa de programación, para la presupuestación y para la certificación de los volúmenes de trabajo de las obras, como antes se ha afirmado.

2.11 Diseño Geométrico de Explanadas, Terrazas o Plataformas.

A continuación se procede a explicar el procedimiento a seguir para garantizar el racional diseño de este tipo de explanación. Antes se dan a conocer las siguientes recomendaciones a tener presente.

2.11.1 Recomendaciones para el Diseño y Construcción de Explanadas o Terrazas.

1- Ubicar la terraza adecuadamente: debe asegurarse que las edificaciones que se construyan en éstas posean satisfactoria ventilación natural y correcta posición respecto al sol, aprovechando al máximo la iluminación natural. Para ello debe ubicarse la terraza perpendicular al viento predominante y provocar la mínima afectación ambiental.

2- Diseñar las dimensiones adecuadas del área de la terraza y estar acorde con la función que la misma desempeñará, es decir, no tan pequeña que dificulte la movilidad hacia y entre los objetos de obra ubicados en la misma, ni tan grande que atente contra la economía en su construcción.

3- Ubicar la terraza donde se logre un económico movimiento de tierras, asegurando la máxima compensación de tierras posible, si el terreno natural reúne las condiciones para su empleo como relleno, es decir, diseñar terrazas balanceadas si el terreno natural lo permite. Dado el caso que el suelo no sirva como relleno, deberá ubicarse la terraza donde predominen los volúmenes de excavación respecto a los de relleno.

4- Garantizar un eficiente drenaje de las aguas pluviales para evitar la saturación de los rellenos y afectación por erosión. Por consiguiente en la terraza a construir debe usarse pendientes entre 0,5 y 2,0 % en la superficie de las mismas y diseñar las cunetas necesarias.

Su ubicación en un partidador o a media ladera, facilita la compensación de tierras y el drenaje. Decidir una cota rasante que evite inundaciones y seguro acceso y empleo de la explanada durante toda época del año.

5- Cumplir con las normas y regulaciones vigentes en la construcción para contribuir así lograr la necesaria calidad de los trabajos.

2.11.2 Datos Básicos a poseer para el diseño.

1- Carta topográfica de la zona o escala adecuada (preferiblemente 1:500).

2- Si el suelo natural reúne los requisitos para su uso como material de relleno tanto para núcleo como para coronación (al menos clasificación según AASHTO o HRB).

3- Noción general del drenaje del área, niveles de crecida o riada y/o de posibles inundaciones del mar.

4- Finalidad de las edificaciones, ubicación y dimensiones de los distintos objetos de obra de las mismas.

Al concebir el proyecto y al efectuar su construcción debe tenerse muy en cuenta el cumplimiento de los principios y conceptos antes expresados, para lograr la realización con el mínimo costo y la debida calidad, los movimientos de tierra de este tipo de explanación.

2.11.3 Método de las Cuadrículas.

Este es un método que clasifica entre los “exactos” para el cálculo de los volúmenes de movimiento de tierra, el que se ajusta a aquellas explanaciones donde predomina el área respecto a la altura, es decir, es el adecuado para las terrazas, explanadas o plataformas.

Su nombre o denominación surge al buscar un calificativo que permita emplear cualquier figura geométrica para subdividir el área de la terraza a calcular (en cuadrados, rectángulos, trapecios, triángulos, etc). Empíricamente se aconseja que las dimensiones de las cuadrículas (si son cuadradas) deben oscilar alrededor de 20 x 20 m lo cual asegura una aceptable

precisión en los cálculos a su vez permite replantear y dirigir la ejecución de la misma satisfactoriamente en la fase constructiva y como es lógico, evitar cálculos innecesarios.

Otros valores usuales recomendados validados por la práctica son:

15 x 20 m ó 20 x 25. No debe emplearse cuando exista una topografía muy irregular pues no se logra buena precisión en los cálculos.

2.12 Procedimiento General de Diseño Geométrico de las Terrazas y de

Cálculo de los Volúmenes de Movimiento de Tierras:

1. DISEÑO:

1. Analizar la carta topográfica para seleccionar la posición idónea (aquella que garantice la máxima compensación posible y por lo tanto economía, buen drenaje, mínimas afectaciones medio ambientales, etc.).
2. Definir adecuadas dimensiones y forma en planta (subdividirla en cuadrículas con dimensiones adecuadas procediendo a numerarlas correctamente y denotar sus vértices (se numeran de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo)
3. Determinar por interpolación la Cota de Terreno en cada vértice de las cuadrículas (Cota Terreno = Cota Terreno Natural – Espesor Capa Vegetal).
4. Definir la cota de rasante de referencia de la terraza, para ello se pueden emplear dos procedimientos analíticos y uno gráfico, que se explican posteriormente.
5. Calcular las alturas ($\pm h$) de cada vértice según: $h = C \text{ rasante} - C \text{ terreno}$. (si $h (+)$ relleno y $h (-)$ excavación), asegurando que la inclinación de la superficie de la explanada posea el drenaje adecuado (0,5 - 2%).
6. Definir recorrido de la línea o líneas cero o de cambio de excavación a relleno en cada cuadrícula y en la explanada en general.

7. Definir en planta la configuración de los taludes en corte y relleno, representándolos debidamente según normas de dibujo vigentes, confeccionando una vista en planta de la explanada o terraza

8. Diseño del Sistema de Drenaje Superficial.

Una vez definidas las dimensiones de la superficie del área neta de la explanada o terraza, así como la pendiente o pendientes de la misma en cada vértice y de ésta en general, debe procederse a diseñar los dispositivos de drenaje superficial que completan el sistema de drenaje, los que seguidamente se enumeran:

1. Cunetas o cunetillas al pie de los taludes en corte(para captar y evacuar el agua pluvial y/o filtraciones de zonas altas)
2. Cunetas de guarda o contracunetas (para captar y eliminar el agua lluvia de aquellas áreas que tributan hacia los tramos en corte).
3. Cunetas o cunetillas cercanas al pie de los taludes en terraplén(para proteger dichos taludes de posibles inundaciones o efectos erosivos de los escurrimientos pluviales de zonas altas)
4. Cunetas escalonadas(para captar y evacuar el agua pluvial en zonas de fuertes pendientes, generalmente recubiertas con lajas de rocas naturales o con hormigón)

La decisión de usar uno, varios o todos dichos dispositivos dependerá del análisis que se realice de la topografía existente en la zona aledaña a la explanada, debiendo definirse en el Plano en Planta la posición y longitud de los mismos, pero faltaría aún por definir sus secciones transversales de manera tal que sean capaces de desempeñar su función adecuadamente, para lo cual habrá que realizar:

1^{ero}: Cálculo hidrológico para determinar el gasto o caudal de llegada a los mismos.

2^{do}: Cálculo y diseño hidráulico de cada dispositivo.

A continuación se explica como hacerlo, basándose en los procedimientos y las tablas que se exponen en el libro: “Proyecto de Carreteras” del Ing. Civil Raúl Benítez Olmedo (5).

-Cálculo Hidrológico:

El gasto o caudal de llegada se determinará por el Método Racional por ser el más adecuado para cuencas tributarias con áreas menores de 30 km² y ser el recomendado para el caso concreto de Cuba. La expresión a utilizar es la de este método que es:

$$Q = 16,66 C. I. A \text{ en: m}^3/\text{segundos}$$

Donde:

Q: Gasto o Caudal de llegada al dispositivo en m³/segundos

c: Coeficiente de escorrentía o escurrimiento el que se obtiene por la TABLA 3.4 del libro antes citado, en función de la pendiente predominante en la cuenca tributaria(%). Si la topografía de la cuenca no es uniforme se determinará un coeficiente promedio pesado o ponderado a partir de los obtenidos con las diferentes pendientes:

I: Intensidad media de la precipitación máxima de duración igual al tiempo de concentración y frecuencia correspondiente al período de retorno establecido en el proyecto, expresado en mm/min.

Esta se determina generalmente para precipitaciones máximas diarias del 1% de probabilidad de ocurrencia, haciendo uso del Mapa Isoyético de la República de Cuba (Figura 3.34 del libro) donde se obtiene el parámetro HP (mm), según la posición geográfica de la obra y la isoyeta mas cercana. Seguidamente se procede a determinar el tiempo de concentración o retardo (tiempo que demora el agua para trasladarse desde el punto más alejado de la cuenca hasta el dispositivo de drenaje) el cual se calcula por la expresión:

$$TR = 0,483(L / \sqrt{s}) \cdot 0,64$$

Donde:

TR: es el tiempo de concentración o retardo, en minutos.

L: longitud del cauce principal, en metros.

S. pendiente media del cauce, en %

También puede determinarse de forma gráfica por la figura 3.33 del libro antes mencionado.

Finalmente se calcula la Intensidad I en mm/min entrando a la figura 3.35 con las magnitudes del parámetro HP y del TR .

Si se desea hallar el gasto o caudal para otra probabilidad diferente al 1% se procederá tal como se expone en la página 110 del libro multiplicando Q por diferentes coeficientes.

- Cálculo y diseño geométrico del dispositivo:

La capacidad hidráulica que es capaz de circular por una cuneta se puede determinar

por la expresión de Manning para “canales abiertos” o de manera más fácil por unos ABACOS (ábacos de la figuras 3.10 a la 3.26 de libro “Proyecto de Carreteras” de Raúl Benítez (5)) los que están conformados para diferentes secciones transversales de cunetas triangulares y trapezoidales. La manera de utilizar estos ábacos es la siguiente:

- a) Se escoge o propone una sección transversal (triangular o trapezoidal) prefiriéndose de antemano el ábaco a utilizar.
- b) Se fija la pendiente longitudinal de la cuneta (mínima del 0,5% sin revestir o del 2% si está revestida y máxima del 2% sin revestir o del 30% revestidas) para así evacuar el agua sin producir erosión perjudicial (ver en Tablas 3.1 y 3.2 las velocidades máximas permisibles para evitar la erosión según diferentes recubrimientos de las cunetas). Se intercepta la curva correspondiente a dicha pendiente con la línea discontinua de la altura de la lámina de agua que se propone circule por la cuneta(generalmente entre 0,10 y 0,50 m)
- c) Con el punto de intersección hallado en el ábaco se determina en el Eje de las Abcisas
- d) (Eje X) la velocidad de circulación de agua en la cuneta, comparándose dicho valor contra las especificaciones de velocidades establecidas en las Tablas 3.1 y 3.2, para detectar si se cumplen o violan las mismas.

- e) Con el mismo punto de intersección hallado en el paso 3 se obtiene en el Eje de las Ordenadas (Eje Y) la magnitud del gasto o Caudal en litros /segundo.

Las magnitudes de la V (m/seg) y de Q (l/seg) dependen del coeficiente de rugosidad, los que se determinan previamente por la Tabla 3.3 acorde al tipo de revestimiento de la cuneta.

- f) Se comprueba si el gasto o caudal de llegada es menor que el determinado por el ábaco pudiendo originarse dos situaciones:

-Si Q llegada es menor Q obtenido por el ábaco: La cuneta diseñada o propuesta es capaz de evacuar adecuadamente el gasto que llega a ella.

-Si sucede lo contrario habrá que modificar el diseño hasta que se cumpla la anterior condición.

9. Una vez diseñado el sistema de drenaje se procederá a confeccionar una o varias secciones transversales donde se muestren los detalles correspondientes, así como la representación en planta de la misma, incluyendo los dispositivos de drenaje proyectados, conformando así finalmente la información gráfica indispensable a presentar en el proyecto ejecutivo de la explanada o terraza.

2. CALCULO:

10. Detectar los diferentes casos que pueden presentarse para el cálculo, agrupando las cuadrículas en las de: relleno, excavación y mixtas.
11. Calcular los volúmenes de tierra de cada cuadrícula, según caso correspondiente, empleando las expresiones más usuales que aseguren la suficiente precisión.
12. Calcular los volúmenes de tierra de los taludes según el caso o expresión correspondiente, lo que asegura la máxima precisión.
13. Determinar los volúmenes totales de excavación y de relleno de la explanación.
14. Resumir los cálculos en una Tabla Resumen.

Para ganar en una mayor comprensión de este método, se realizará seguidamente una explicación adicional sobre el paso # 4 de la metodología antes descrita, así como se resolverá un ejemplo de cálculo de volúmenes en una terraza.

Como se comentó en el paso # 4 se determina una **cota de referencia (centroide)** para lograr la compensación de tierras por varios procedimientos, los cuales se muestran a continuación:

a) Gráfico:

Consiste en determinar dicha cota sumándole a la cota mínima el término $\Delta H/2$, es decir, la altura media obtenida como la diferencia entre la máxima cota de terreno y la mínima, sumársela a la mínima cota de terreno de los vértices de las cuadrículas

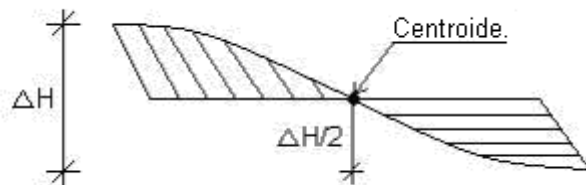


Gráfico 6.

$$\Delta H = \text{Cota terreno máx.} - \text{Cota terreno mín.}$$

$$\text{Cota referencia} = \text{Cota terreno mínima} + \Delta H/2$$

b) Analítico: consiste en calcular la cota de terreno mediante la media aritmética o por el promedio pesado.

b.1 Por la Media Aritmética de las cotas terreno de cada vértice:

$$Ct_{media} = \sum \frac{Ct_i}{n}$$

b.2 Media Ponderada: (por ejemplo para la explanada mostrada seguidamente)

$$Ct_{pp} = \frac{Ct_A + 2Ct_B + 2Ct_C + Ct_D + 2Ct_E + 4Ct_F + 4Ct_G + 2Ct_H + \dots + Ct_P}{nt}$$

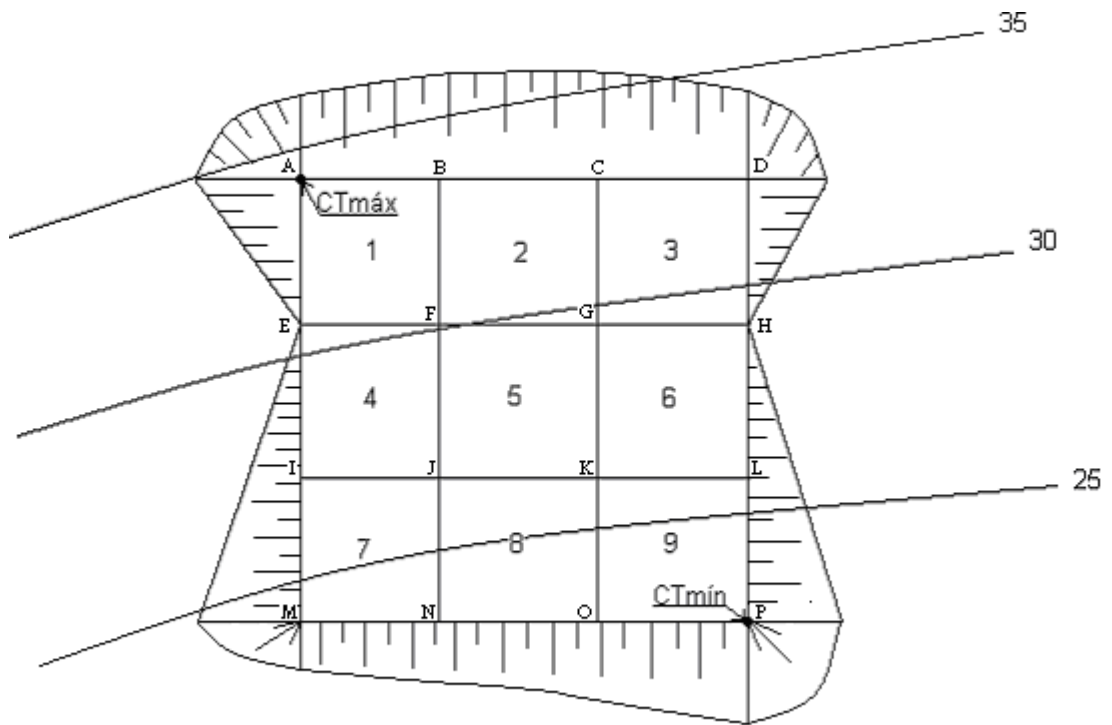
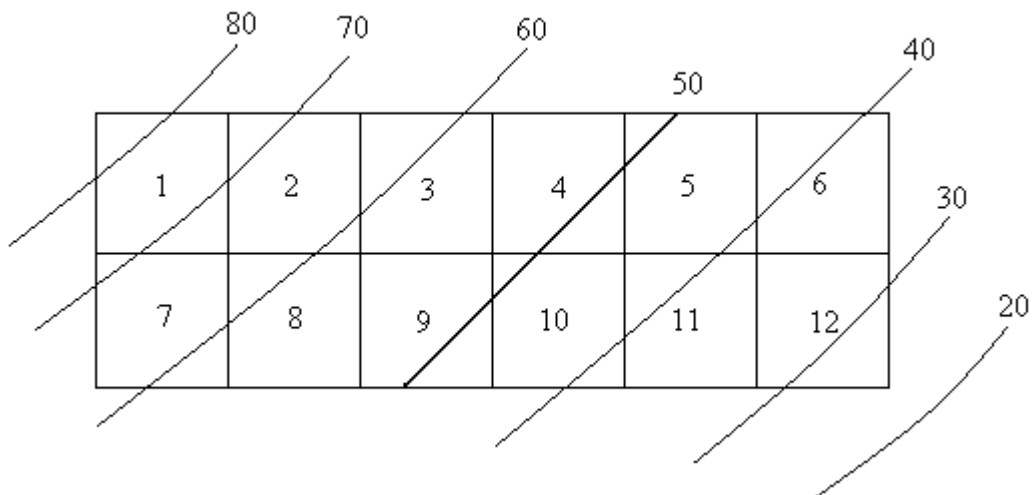


Gráfico 7.

Es necesario agregar que no siempre la cota de rasante de la explanada será la que garantice la compensación de tierras, definiéndose la misma por otras razones como pueden ser: evitar su inundación por crecidas de ríos o arroyos aledaños, para garantizar un nivel obligado impuesto por obras existentes, etc., lo que puede originar terrazas totalmente en relleno, totalmente en excavación o parcialmente compensadas.

2.13 Ejemplo de aplicación de la Metodología para el Cálculo de Volúmenes de Movimiento de Tierra en Explanadas o Terrazas (Método de las Cuadrículas).

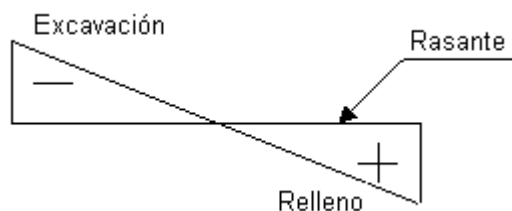
Se desea determinar los volúmenes de tierra a mover en una terraza rectangular, la cota o nivel de la terraza se ha decidido sea la 50. Determine los volúmenes de excavación y de relleno.



Del esquema puede deducirse fácilmente que se presentan 3 casos:

1. - Las cuadrículas: 1, 2, 3, 7 y 8 hay que excavarlas.
- 2.- Las cuadrículas: 6, 11, 12 hay que rellenarlas.
- 3.- Las cuadrículas: 4, 5, 9 y 10 poseen una parte en excavación y otra en relleno (mixtas)

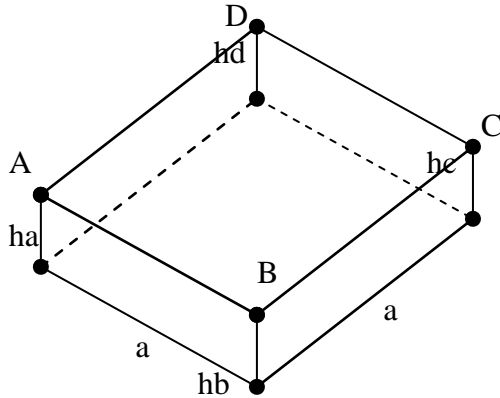
Por convenio se adopta: Signo (+) para el relleno y Signo (-) para la excavación.



1er Caso: Toda la cuadrícula está en excavación:

Simbología:

- Puntos con la cota de nivel de la Rasante.
- Puntos con la cota o nivel del Terreno.



a = Lados de la cuadrícula.

ha, hb, hc, hd = alturas de los puntos A,B,C, Y D, respectivamente.

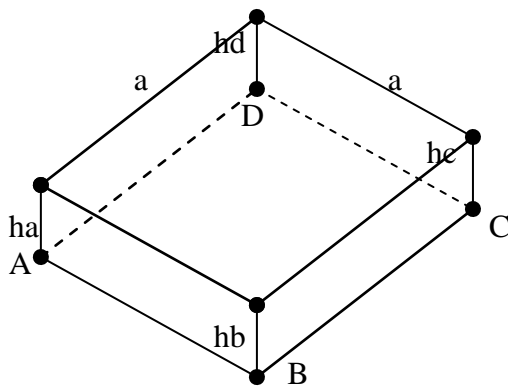
Dichas alturas se calculan como la diferencia entre los niveles de la superficie del terreno, a lo que se le denomina también desniveles de trabajo:

$$h = \text{Cota Rasante} - \text{Cota Terreno}$$

Para que sea volumen de excavación deberá cumplirse que $h < 0$ (negativa). En este caso el volumen se calcula por la expresión.

$$V_{exc} = - a^2 \left(\frac{ha+hb+hc+hd}{4} \right) \text{ m}^3 \text{ naturales}$$

2do Caso: Cuadrícula totalmente en relleno.



De acuerdo a que:

$$h = \text{Cota Rasante} - \text{Cota Terreno.}$$

Como: Cota Rasante > Cota Terreno.

$h > 0$, es decir, el nivel de la rasante es superior que el nivel de la superficie del terreno (es positiva).

$$V \text{ relleno} = a^2 \frac{(h_a+h_b+h_c+h_d)}{4}, \quad \text{m}^3 \text{ compactados}$$

Cuando las cuadrículas tengan todos sus vértices con niveles del mismo signo se denominan “simples” (que son los casos anteriores).

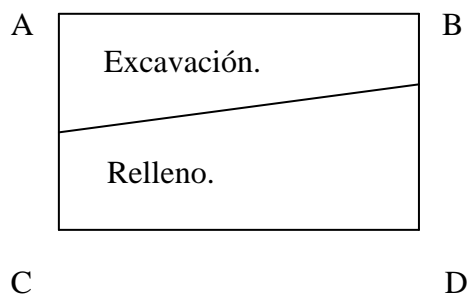
3er Caso. Cuadrículas Mixtas.

Estas cuadrículas son aquellas que poseerán un volumen de relleno y otro de excavación, son llamadas también: Mixtas.

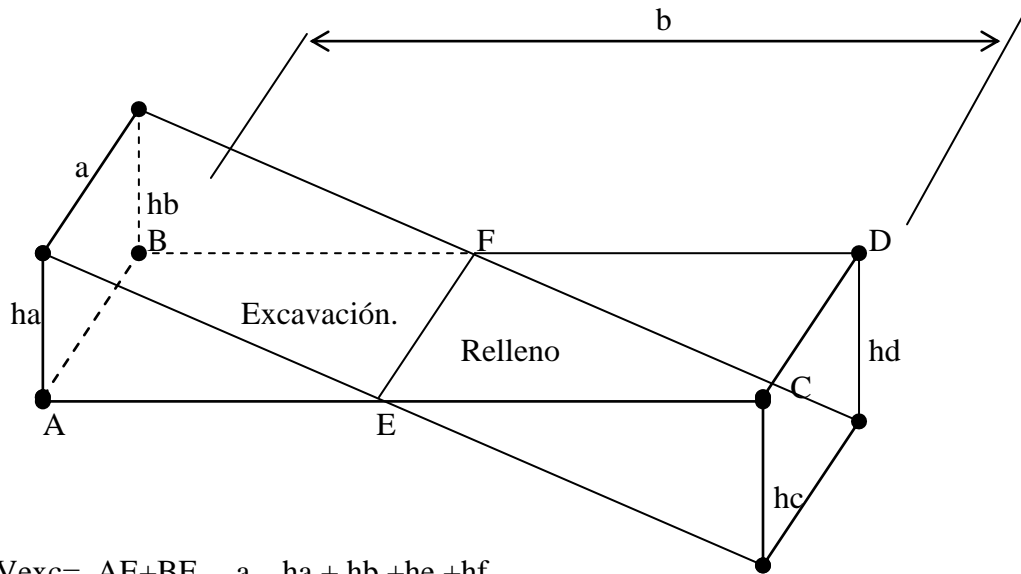
Estas cuadrículas están compuestas por una zona en excavación y una en relleno.

Ahora bien, como las cuadrículas poseen volúmenes en excavación y en relleno, pueden presentarse dos casos:

I- Cuando la “línea cero” (línea que delimita las zonas en excavación y relleno) corta dos lados paralelos de la cuadrícula.



Veamos las expresiones que se emplean para determinar los volúmenes de excavación y de relleno son:



$$V_{exc} = \frac{AE+BF}{2} \cdot a \cdot \frac{ha + hb + hE + hF}{4}$$

aquí:

$$hE = hF = 0$$

$$V_{exc} = \frac{(AE + BF) a (ha + hb)}{8}$$

$$V_{rell} = \frac{EC + FD}{2} \cdot a \cdot \frac{hc + hd + hE + hF}{4}$$

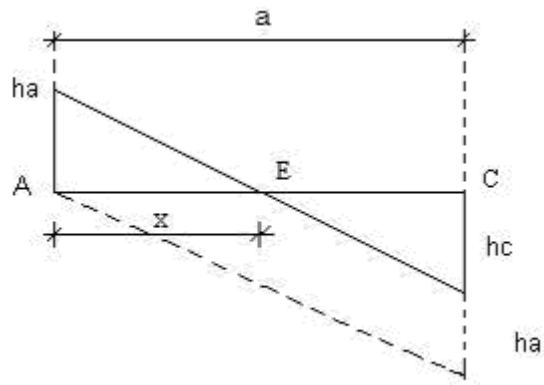
$$hE = hF = 0$$

Entonces:

$$V_{rell} = \frac{(ec + fd)a(hc + hd)}{8}$$

- Para representar la “línea cero” se emplean las propiedades de la Semejanza de Triángulos y por la “Regla de Tres” se halla la posición del punto en cada cuadrícula donde existan lados con vértices de signos diferentes, para finalmente uniéndolos mediante líneas se determina el recorrido de dicha línea. a través de la explanada, la cual puede originar diferentes situaciones.

Determinando los valores AE, BF, EC, Y FD, lo cual lo calcularemos por semejanza de triángulos de la forma siguiente:



$$EC = a - AE$$

Se puede afirmar que:

$$AE \text{ -----} ha$$

$$ha + hc \text{ -----} a$$

Por tanto: $\frac{x}{ha} = \frac{ha + hc}{a}$

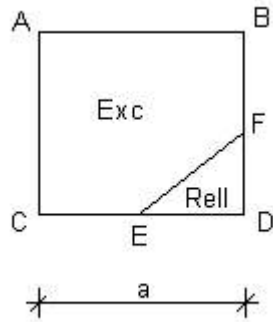


$$x = AE = \frac{(ha+hc) \cdot ha}{a}$$

Luego: $EC = a - AE$

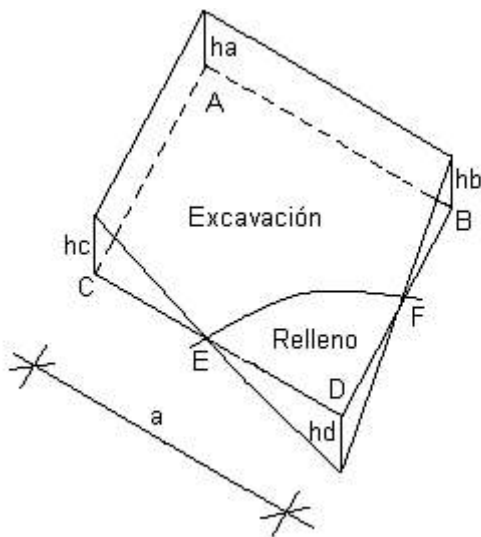
Tener cuidado aquí al ubicar el punto E o de cambio, a escala, partiendo desde el vértice de referencia. Debe controlarse que den valores lógicos ($\leq a$).

B- Cuando la curva de nivelación o línea cero corta dos lados perpendiculares de la cuadrícula.



Se puede calcular por cualquiera de las tres variantes siguientes:

El volumen de la zona de relleno se corresponde con el de un prisma Base Triangular. (V prisma = 1/3 A base. h).



El volumen de la zona de relleno se corresponde con el de un Prisma Base triangular:

($V_{\text{prisma}} = 1/3 A \text{ base: } h$).

$$V_{\text{rell}} = \left(\frac{ED \cdot DF}{2} \right) \cdot \frac{h_E + h_F + h_D}{3}$$

$$h_F = h_E = 0$$

También:

$$V_{\text{prisma}} = \frac{1}{3} Ab h$$

$$V_{\text{prisma}} = \frac{1}{3} \left(\frac{ED \times DF}{2} \right) h_D$$

$$V_{rel.} = \frac{ED \times DF \cdot \bar{h}d}{6} \longrightarrow V_{prisma} = \frac{1}{6} ED \times DF \cdot \bar{h}d$$

El volumen “DIFERENCIA” (o que queda sin compensar) será:

$$V_{dif} = a^2 \left(\frac{ha + hb + hc - hd}{4} \right)$$

Siempre V_{dif} es + y tendrá el estado correspondiente (nat.. o compactado).

$$(V_{dif} = V \text{ mayor} - V \text{ menor})$$

Para este caso particular:

• Si: $hd < ha + hb + hc$ $V_{rell} < V_{exc}$

Entonces: $V_{dif} = V_{exc} - V_{rell}$, en m^3 naturales

despejando:

$$V_{exc} = V_{dif} + V_{rell}, m^3 \text{ naturales (deben llevarse ambos } m^3 \text{ a estado natural o al estado compactado)}$$

• Si: $hd > ha + hb + hc \implies V_{rell} > V_{exc}$

$$V_{dif} = V_{rell} - V_{exc}$$

$$\implies V_{exc} = V_{rell} - V_{dif} \quad (\text{caso contrario o inverso al anterior})$$

• Si $hd = \Sigma h(a, b \text{ y } c) \implies V_{rell} = V_{exc}$

$$\therefore V_{exc} = \left(\frac{ED \times DF}{6} \right) \bar{h}d$$

en m^3 comp.

$$\text{Aquí: } V_{dif} = a^2 \frac{(ha + hb + hc - hd)}{4}$$

$$V_{dif} = a^2 \frac{0}{4} = 0^4 \quad (\text{ya que: } \frac{0}{a} = 0)$$

$$\implies V_{dif} = 0 \text{ (los vol. de excavación son iguales a los de relleno)}$$

Una manera más sencilla de realizar el cálculo de los volúmenes de relleno y excavación se plantea seguidamente a partir del esquema inicial que se empleó en el análisis anterior, los volúmenes de excavación y relleno se pueden hallar fácilmente según:

$V_{exc} = A_{exc} \cdot \text{Promedio Alturas en Excavación, } m^3 \text{ naturales.}$

$$V_{exc} = \left[\frac{EA + BF}{2} \cdot a \right] \cdot \left[\frac{ha + hb + hc + hf}{4} \right]$$

De manera similar se procede con los volúmenes de relleno:

$V_{rell} = A_{rell} \cdot \text{Promedio Alturas de Relleno, } m^3 \text{ compactados.}$

$$V_{rell} = \left[\frac{EC + FD}{2} \cdot a \right] \cdot \left[\frac{hd + hc + he + hf}{4} \right]$$

2.13.1 Cálculo de Volúmenes de Movimiento Tierra de los Taludes:

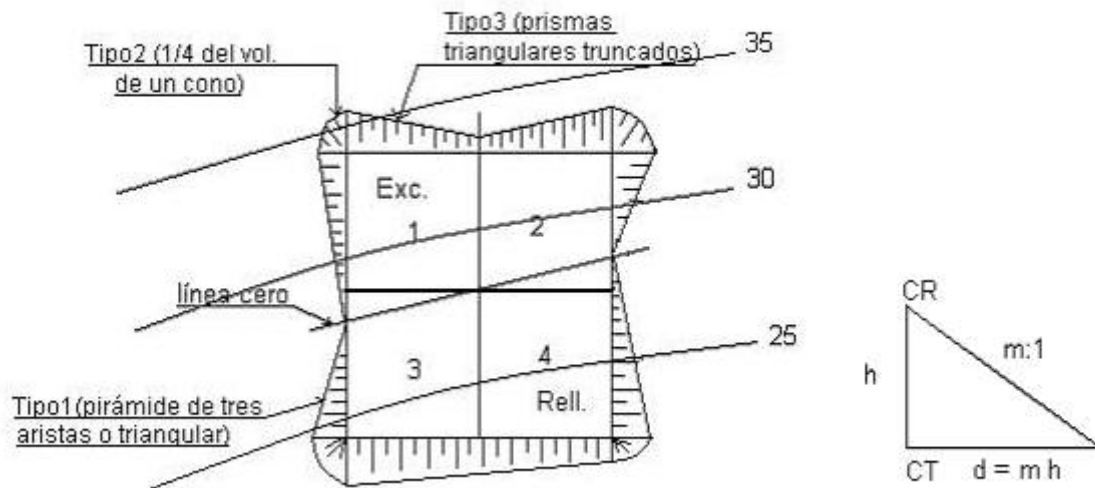


Fig. 5: Vista en planta.

- Para determinar los volúmenes de los taludes se considerará que los mismos se pueden presentar en figuras geométricas tales como pirámides de base triangular (Tipo 1); 1/4 del volumen de un cono (Tipo 2) y prismas triangulares truncados (Tipo 3).

TIPO 1: Se calcula por la expresión:

$$V_1 = \frac{m h^2 L}{6} \quad \left\{ \begin{array}{l} v_p = \frac{1}{3}(Ab)h \\ v_p = \left(\frac{1}{3} \left(\frac{1}{2} mh \right) h \right) \cdot L \\ v_p = \left(\frac{mh^2}{6} \right) L \end{array} \right.$$

Donde: m = coeficiente de relación de los taludes expresados en: tanto es a uno.

TIPO 2: se calcula por la expresión aproximada siguiente:

$$V_{\text{cono}} = \frac{1}{3} ABh = \left[\frac{1}{3} (\pi^2) h \right] \frac{1}{4}$$

$$V_2 = \frac{3,14}{12} m^2 h^3 \approx \frac{m^2 h^3}{4}, m^3 \text{ naturales o compactados.}$$

Donde: h = desnivel de trabajo en m

m = relación de la expresión de la pendiente de un talud en: tanto es a uno

TIPO 3:

$$V_3 = \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) L, m^3 \text{ naturales o compactados}$$

Donde: L = longitud del prisma (m)
A = áreas de los triángulos (m²)

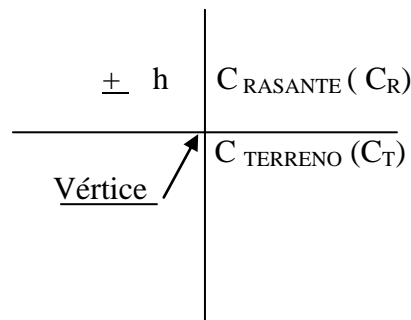
- Los volúmenes totales de excavación y de relleno (o “terraplén”) se obtienen sumando los calculados en las cuadrículas más los determinados en los taludes; los que deben resumirse en la TABLA RESUMEN, cuyo formato se presenta seguidamente.

Cuadrícula Nº	Vol. Exc m ³ nat.	Vol. Rell. m ³ comp.	Taludes		Volumen Totales		Observaciones.
			Vol. Exc. m ³ nat.	Vol. Rell. m ³ comp.	V total Exc.(nat.)	V total Rell (comp.)	

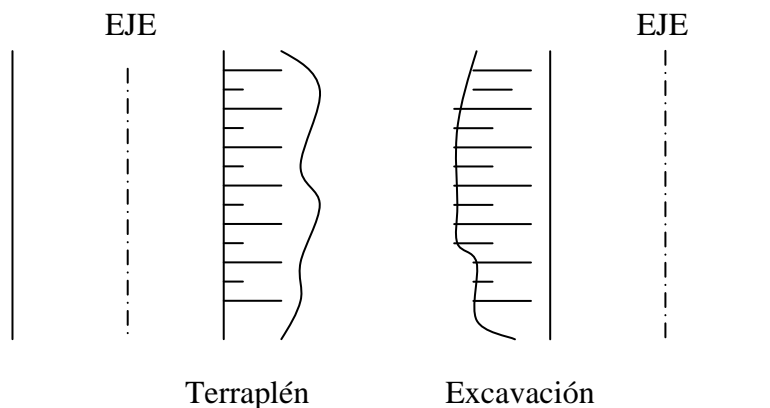
Los volúmenes totales de excavación y de relleno se deben comparar, una vez transformados al mismo estado, para determinar si la Terraza o Explanada es o no Compensada. Lo ideal sería que ambos volúmenes fuesen iguales o con diferencias menores al 5 %, en ese caso se considerará Compensada, en caso contrario No Compensada debiendo realizarse un recálculo hasta lograr la compensación, siempre que este sea el objetivo fundamental del diseño.

Para realizar la correcta representación en Planta de la Explanada:

Se señala la cota de rasante en el primer cuadrante. El valor del nivel del terreno se anota en el segundo cuadrante, el desnivel o altura (h), en el cuarto cuadrante y la denominación del vértice en el tercero, tal como seguidamente se representa:



- Los taludes en Corte o Excavación y en Terraplén o Relleno se representarán en Planta tal como se muestra seguidamente:



A continuación se muestra el esquema en planta de una explanada o terraza debidamente representada:

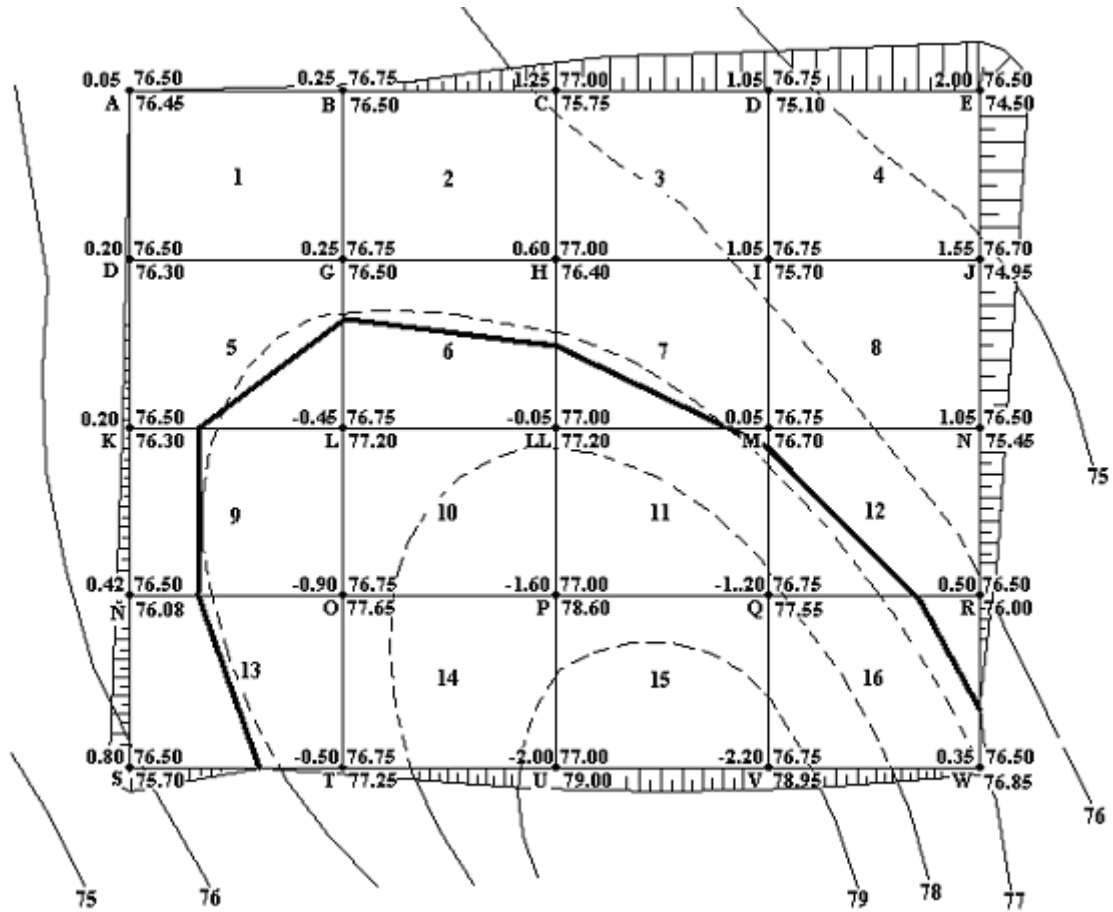
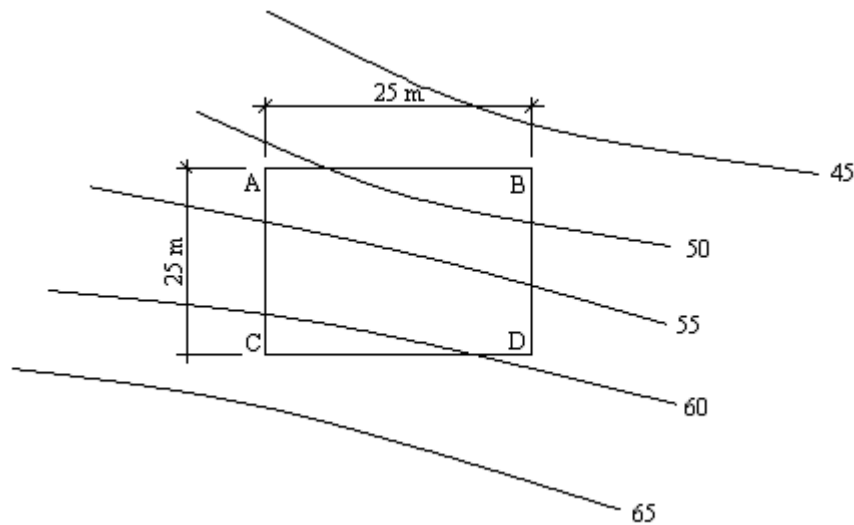


Fig. 6: Vista en Planta de una Terraza.

Ejemplo:

1. Dada la siguiente explanada o terraza determine:



- Los volúmenes de excavación y de relleno a mover para su construcción.
- Si la terraza es compensada.

Datos:

Terraza de 25 x 25m

Taludes 1.5:1

Suelo: Rocoso o Roca blanda, bueno como relleno.

Espesor de capa vegetal: 0.30m

Rasante (sin pendiente): 60.00m

Pendiente aconsejable: 1.0%

Escala: 1: 500.

Solución:

- Debe desarrollarse la secuencia siguiente, según los datos otorgados solo bastaría por hacer:
 - Definir cota rasante.
 - Calcular las alturas ($h = \pm C_{ras} - C_{proy.}$)
 - Definir recorrido de la línea cero (aplicando Semejanza de Triángulos).
 - Determinar recorrido del pie de taludes en corte y relleno y representándolos debidamente.
 - Calcular volúmenes de movimiento de tierra de las cuadrículas.
 - Calcular volúmenes de movimiento de tierra de los taludes.
 - Hacer Tabla Resumen y hallar volúmenes totales de excavación y relleno.

1^{ro}: Determinar las cotas de terreno en cada vértice, por interpolación a estima y considerando el espesor de la capa vegetal:

$$C_T = C_{T \text{ nat.}} - e_{\text{capa vegetal}}$$

$$C_T = 53m - 0.30 = 52.70m$$

$$C_T = 47.5m - 0.30 = 47.20m$$

$$C_T = 64.0m - 0.30 = 63.70m$$

$$C_T = 58.5m - 0.30 = 58.20m$$

2^{do}: Definir cota rasante en cada vértice:

Si deseamos la compensación de volúmenes debe ser un plano que pase por $\Delta H/2$ es decir:

$$C_{T_{\text{centroide}}} = \frac{C_{TC} - C_{TB}}{2} = \frac{P_{\text{tomáxalto}} - P_{\text{tomínbajo}}}{2} = \frac{63.70 - 47.20}{2} = 8.25m$$

$$C_{TB} + 8.25 = 47.20 + 8.25 = 55.45m$$

Asumiendo las cotas de rasante en C y D como 55.45m: $C_{RA} = 55.45m$

$$C_{RD} = 55.45m$$

Entonces las C_{RA} y C_{RB} deben ser inferiores para que exista pendiente favorable para que el agua pluvial siga el sentido del terreno natural, de la inclinación de esta zona:

Adoptando $p = 1\%$ (0.5% - 2%); ‘baja 1cm cada 1m’, luego en 25m será:

$$C_{RA} = C_{RC} - 0.25m = 55.45 - 0.25 = 55.20m$$

$$C_{RB} = C_{RD} - 0.25m = 55.45 - 0.25 = 55.20m$$

3^{ero}: Determinar las alturas (h) en cada vértice: $\pm h = C_R - C_T$

$$h_A = C_{RA} - C_{TA} = 55.25 - 52.70 = 2.55m$$

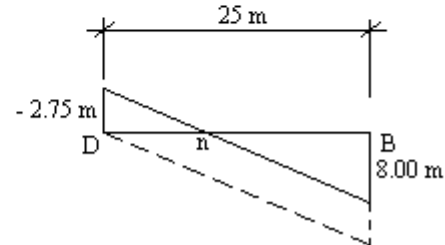
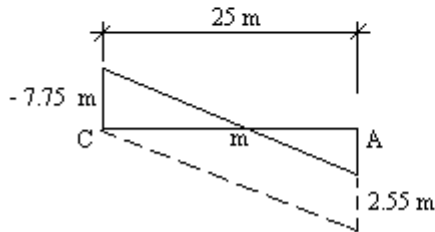
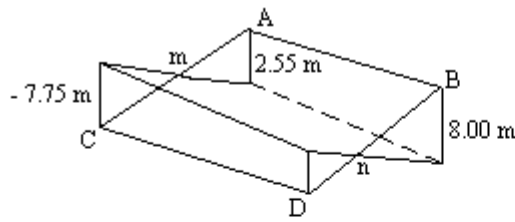
$$h_B = C_{RB} - C_{TB} = 55.20 - 47.20 = 8.00m$$

$$h_C = C_{RC} - C_{TC} = 55.45 - 63.70 = -7.75m$$

$$h_D = C_{RD} - C_{TD} = 55.45 - 58.20 = -2.75m$$

4^{to}: Definir posición ‘línea cero’ o de cambio de excavación a relleno.

Si en lados AC y BD un vértice es + y el otro - significa que la línea cero corta dichos lados paralelos (AC || BD).



Si: $25 = (h_A + h_C)$

$m_A = h_A$

$\Rightarrow m_A = x$

$$\therefore m_A = \frac{h_A \cdot 25}{h_A + h_C}$$

$$m_A = \frac{2.55 \cdot 25}{2.55 + 7.75}$$

$m_A = 6.18m$

Luego:

$Cm = 25 - 6.18$

$Cm = 18.82m$

$25 = (h_D + h_B)$

$Dn = h_D$

$$Dn = \frac{25 \cdot h_D}{h_D + h_B}$$

$$Dn = \frac{25 \cdot 2.75}{2.75 + 8.00}$$

$Dn = 6.39m$

Luego:

$nB = 25 - Dn$

$nB = 25 - 6.39$

$nB = 18.61m$

5^{to}: Calcular los volúmenes de movimiento de tierra de la cuadrícula.

Entonces:

$$V_{exc} = \left(\frac{Cm + Dn}{2} \cdot 25 \right) \cdot \left(\frac{h_C + h_D + hm + hn}{4} \right)$$

$$V_{exc} = \left(\frac{18.82 + 6.39}{2} \cdot 25 \right) \cdot \left(\frac{7.75 + 2.75 + 0 + 0}{4} \right)$$

$V_{exc} = -827.22m^3 nat.$

$$V_{rell} = \left(\frac{mA + nB}{2} \cdot 25 \right) \cdot \left(\frac{h_A + h_D + hm + hn}{4} \right)$$

$$V_{rell} = \left(\frac{6.18 + 18.61}{2} \cdot 25 \right) \cdot \left(\frac{2.55 + 8.00 + 0 + 0}{4} \right)$$

$$V_{rell} = 818.05 m^3 comp.$$

b) ¿Será balanceada la terraza? Para contestar esta pregunta hay que hallar los volúmenes de los taludes, primero hay que representarlos y definir casos y sus volúmenes respectivos para sumar estos a los volúmenes de la terraza. Hecho esto se transforma uno de ambos volúmenes en el mismo estado del otro, por ejemplo el volumen de excavación en m³ naturales, transformarlo a m³ compactados(multiplicando en este caso por 0,90), para luego comparar ambos, si: $\Delta \leq 5\% \Rightarrow$ balanceada.

$$\Delta_v = \frac{Vol.mayor - Vol.menor}{V_{mayor}} \cdot 100$$

2.14 Distribución de Masas de Suelos, definición, objetivos y principios a cumplir.

Hasta el momento se conocen cuales son los diferentes tipos de explanaciones y como calcular los volúmenes de trabajo y en especial, los volúmenes de tierra de terraplenes y terrazas, una vez que estos han sido diseñados previamente. Ahora bien, antes de pasar a la fase de construcción de las mismas, debe organizarse eficientemente los movimientos de tierras a realizar o dicho de otra manera distribuir eficientemente la masa de suelo a mover. Entonces se definirá o entenderá por: Distribución de Masa de Suelo: “a aquella distribución de tierras que garantice la construcción de la explanación en el mínimo número de movimientos, a las mínimas distancias posibles.”

En caso de lograrse lo anterior se ha logrado la óptima distribución de las masas de suelo.

Los objetivos para realizar una óptima distribución de movimiento de tierras son:

1. Lograr la máxima economía posible.
2. El mínimo plazo de duración de los trabajos.

Existen métodos que permiten expresar de forma concreta la distribución óptima o al menos racional de las masas de suelo en Terraplenes y Terrazas. Adelante se estudiará como proceder en este último tipo de explanación: Las Terrazas o Explanadas.

Los Principios para realizar la Distribución de Masas de Suelo (D.M.S) óptima son:

- 1- Máxima compensación posible de los volúmenes de tierra a mover.
- 2- Realizar el movimiento de tierra efectuando el mínimo de número o cantidad de movimientos posibles.
- 3- Efectuar dichos movimientos con las mínimas distancias de acarreo o traslado de tierra posible.

2.14.1 Definiciones Básicas. Centros de Masa y Distancias Medias de Compensación.

2.14.1.1 Centro de Masas (c.m.)

Será aquel punto donde se puede considerar concentrada toda la masa de suelo a excavar o a rellenar. Esto significa que existirán c.m., en las zonas de rellenos y en las de depósito a caballero o vertederos.

La adopción de esta definición tiene un significado práctico muy importante, pues así se simplifican los análisis y cálculos a realizar para lograr una correcta D.M.S. asegurando la adecuada precisión, con un menor número de actividades a contemplar.

2.14.1.2 Distancia Media de Acarreo o Transporte de Tierra.

Es aquella distancia que existe entre los centros de masa (c.m.) de excavación y de relleno o depósito del material excavado. Estas pueden ser de varios tipos:

- a) Distancia Media de Compensación (D.M.C): Es la que existe entre los c.m.. de una zona en corte y otra de relleno que se compensará longitudinalmente o transversalmente.

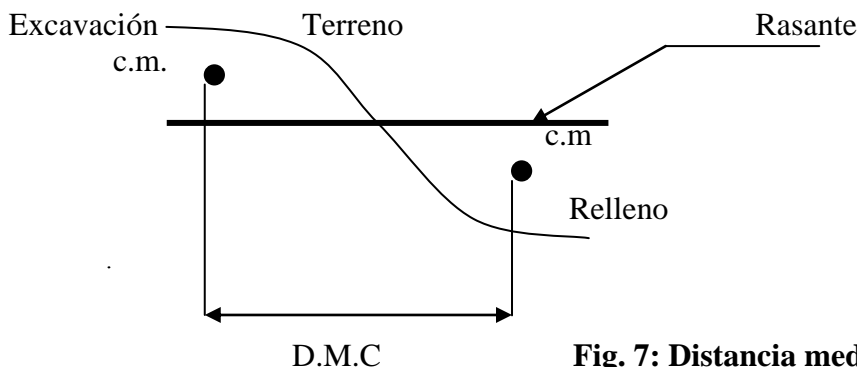


Fig. 7: Distancia media de compensación.

b) Distancia Media de Acarreo (D.M.A): esta podrá medirse desde:

1- El c.m. de una zona en tramo en corte hasta el c.m. de la zona donde se depositará a caballero o en un vertedero el material excavado sobrante o indeseable.

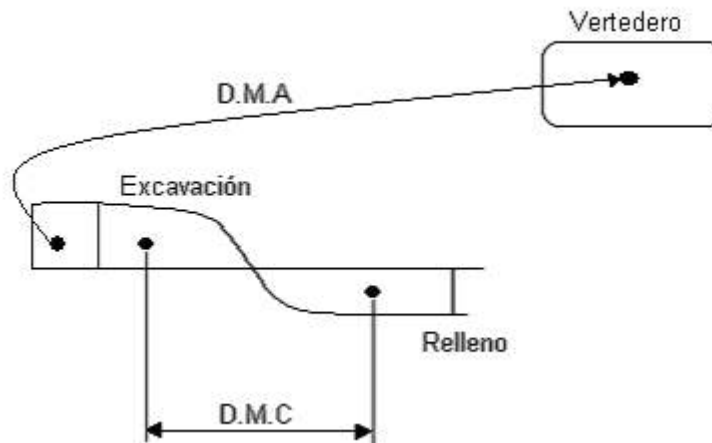


Fig. 8: Distancia media de acarreo.

2- El c.m. de un préstamo lateral hasta el c.m. de un tramo en relleno en la explanación.

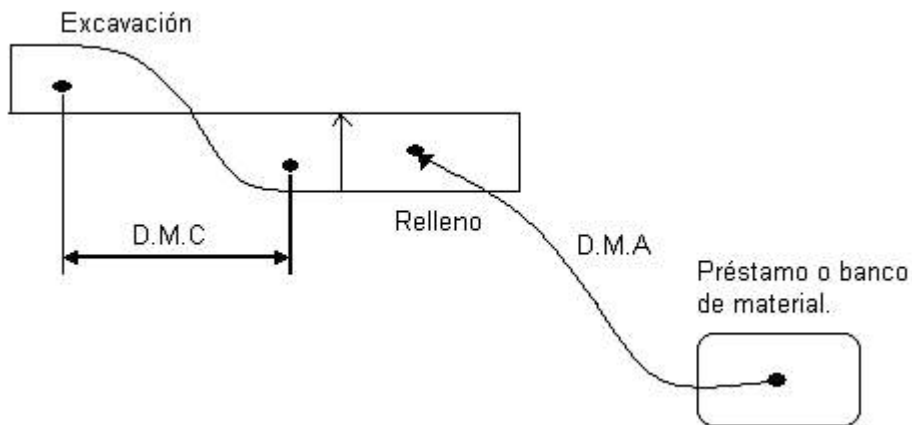


Fig. 9: Distancia media de acarreo.

¿Cómo determinar los Centros de Masa (c.m.) y las Distancias Medias de Compensación (D.M.C.)?

Para ello se conocerán dos métodos para las Terrazas o Explanadas.

2.14.1.3 Métodos para determinar las Distancias Medias de Compensación v/o Acarreo de Tierras en Terrazas o Explanadas.

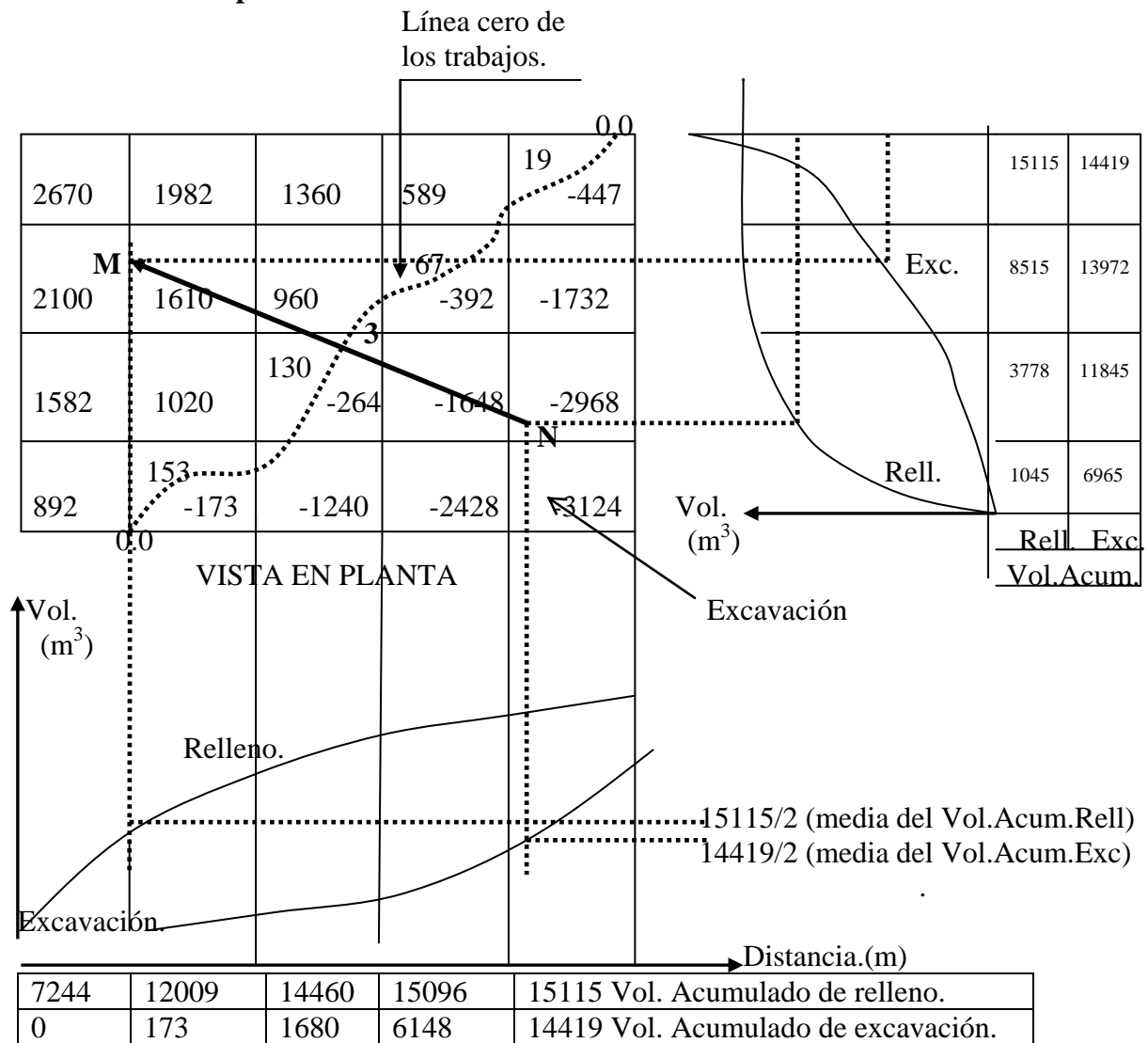
Existen dos procedimientos a seguir:

- a) Método Analítico.
- b) Método Gráfico:

Por ser suficiente la precisión obtenida por el Método Gráfico, así como por su facilidad de empleo, se desarrollará seguidamente este último.

El **Método Gráfico** para determinar la distancia media de compensación consiste en situar dos sistemas de coordenadas, uno en la parte superior ó inferior y otro situado en una de las partes laterales del mismo, como se observa seguidamente:

2.14.1.4 Método Gráfico para determinar la distancia media de compensación de tierras en Terrazas o Explanadas.



En cada sistema de coordenadas se plotearán en las ordenadas, cuya escala es arbitraria, los puntos que representan los volúmenes acumulados de excavación y de relleno y en las abscisas las distancias de las cuadrículas del Cartograma de Masas de la Terraza.

La curva de relleno se obtiene trazando una línea que une a los puntos que represente los volúmenes acumulados de relleno en cada sistema de coordenadas. De la misma forma se obtiene la curva de excavación. Posteriormente la ordenada que corresponde al volumen máximo acumulado de relleno se divide a la mitad y se traza la línea media de división de la curva de relleno paralela a la abscisa, que al hacerla interceptar con la curva de relleno se obtienen los puntos M' y M'' .

Las coordenadas correspondiente al volumen máximo acumulado de excavación se divide a la mitad y se traza la línea media de división de la curva de excavación paralela a la abscisa, que al interceptarse con la curva de excavación se obtienen los puntos N' y N'' .

Los puntos M' y M'' se proyectan al Cartograma y en la intersección de ambos se obtiene el punto M, los N' y N'' se proyectan de la misma forma al cronograma para obtener el punto N.

La distancia entre los puntos M y N (centros de masa de excavación y de relleno) medida sobre el Cartograma, a la escala del mismo, será la Distancia Media de Compensación (D.M.C.).

2.14.1.5 Resumen del Procedimiento a seguir en el Método Gráfico:

- 1- Situar dos sistemas de coordenadas una en la parte superior o inferior y otro en un lateral (preferentemente a la derecha).
- 2- En cada sistema de coordenada plotear en las ordenadas (y), a escala arbitraria, los volúmenes acumulados de excavación y de relleno. En las abscisas (x) plotear las distancias de las cuadrículas del Cartograma de la Terraza.
- 3- Obtener la curva de relleno y de excavación uniendo todos los puntos de los volúmenes acumulados en cada distancia de las cuadrículas.
- 4- Dividir la ordenada máxima de relleno a la mitad y representar el punto, trazando una línea paralela al eje x hasta cortar la curva de relleno (M' y M'') subir los puntos M' y M''

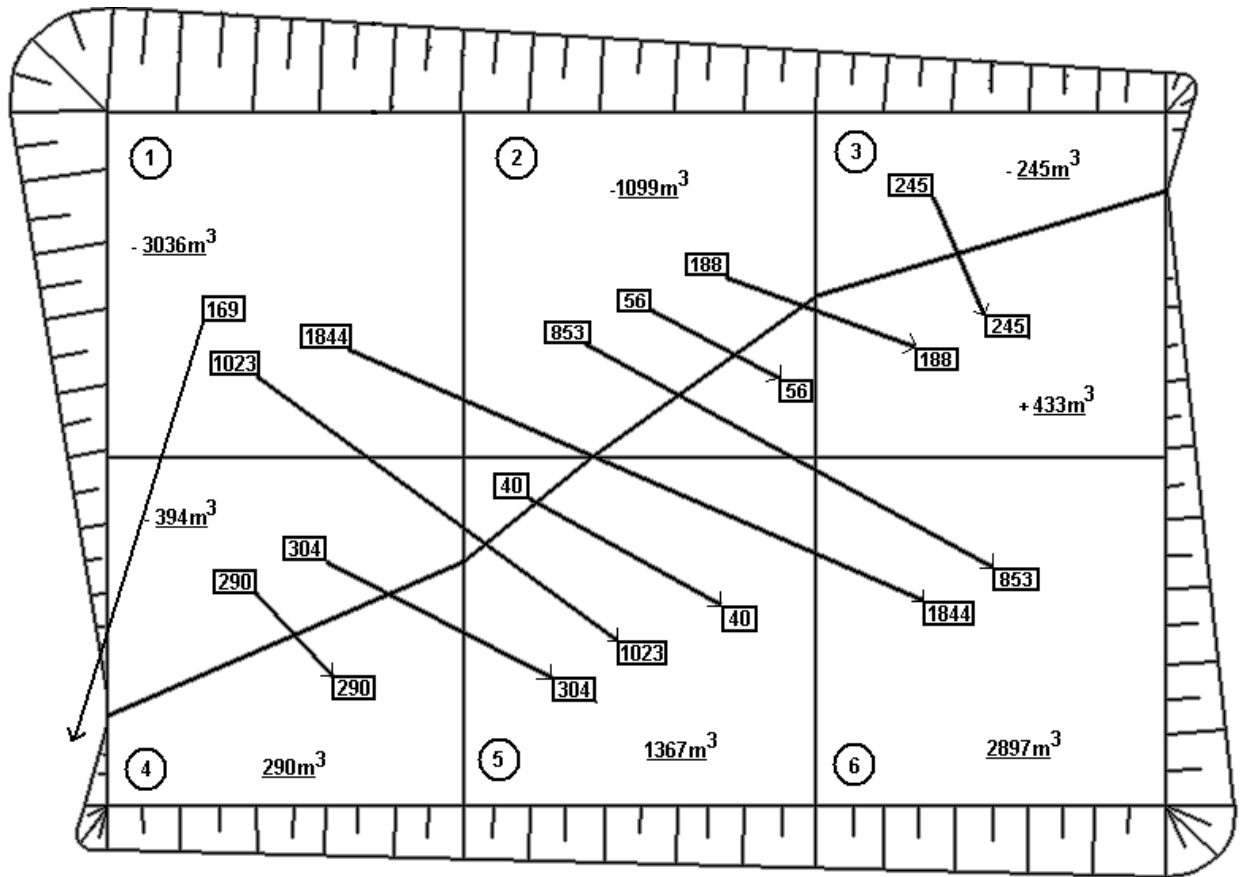
hasta que se intercepten en el cronograma donde se obtendrá el punto M que es el centro de masa del área de relleno.

- 5- Dividir la ordenada máxima de excavación entre 2 y representar el punto, trazando una línea paralela al eje X hasta cortar la curva de excavación (puntos N' y N''). Subir los puntos N' y N'' hasta que se interceptan en el Cartograma donde se obtendrá el punto N que es el centro de masa del área de excavación.
- 6- Medir a escala la distancia M-N que es la Distancia Media de Acarreo (D.M.C.).

2.15 Cartograma de Masas.

En síntesis este no es más que: “la forma gráfica de expresar la estrategia de distribución de las masas de tierra necesarias para ejecutar la explanada o terraza”. Para ello se requiere que previamente se hayan calculado los volúmenes de movimiento de tierra de la terraza, determinado sus centros de masa y distancias medias de compensación y/o acarreo de tierras, procediendo seguidamente a:

- 1- Hacer el Esquema de Distribución. Este consiste en decidir las distancias de compensación y/o acarreo de tierra de las zonas, cuadrículas o lugares de excavación hasta las de relleno o depósito, distribuyendo con la máxima racionalidad posible (mínimos movimientos a realizar) en un plano en planta (generalmente a escala: 1:500) de la Terraza. Generalmente conlleva varios tanteos escogiéndose finalmente la variante de mínima distancia media de compensación.



Esquema de distribución y traslado de la masa de suelo.

2- Confeccionar la Tabla de Distribución de Masas de Suelo donde se especifiquen los movimientos a realizar, con el siguiente encabezamiento:

Tabla 5: Distribución de Masas de Suelo.

Zona de origen.	Volumen. a excavar.(m ³)	Zona de destino.	Vol. a Rellenar (m ³ nat.)	Distancia media de acarreo (m).	Observaciones.
Cuad. 1	1023	Cuad.5	1023	30	----
Cuad. 1	1844	Cuad.6	1844	45	----
Cuad. 1	169	Vertedero	169	20	sobran 169m ³ nat
Cuad. 2	853	Cuad.6	853	35	compensada.
Cuad. 2	188	Cuad.3	188	15	----
Cuad. 2	56	Cuad.2	56	10	compensada.
Cuad. 3	245	Cuad.3	245	10	compensada.
Cuad. 4	304	Cuad.5	304	15	----
Cuad. 4	290	Cuad.4	290	10	compensada.
Cuad. 5	40	Cuad.5	40	15	compensada.