

**“CONOCIMIENTOS BASICOS DE SUELOS A CONSIDERAR EN LA
OFERTA Y EJECUCIÓN DE MOVIMIENTOS DE TIERRA SEGÚN
TIPOS DE SUELO QUE SUELEN PRESENTARSE”**

**Martínez Chacón Yoan A.
Vidao López Jesús C. Alberto.**

Eduardo Madrigal Quevedo

Mayo del 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Eduardo Madrigal por toda la orientación, apoyo, dedicación y aportes prestados durante todos estos meses de arduo trabajo.

Al Ingeniero Carlos Rodríguez por sus brillantes aportes, excelentes sugerencias y por prestar un poco de su apreciadísimo tiempo.

A Carlos Vidao por sus grandes consejos y buenos aportes para la realización de este trabajo de grado.

Al Ingeniero Rafael Madrigal por sus buenos comentarios y guías aportadas a este trabajo especial de grado.

Al Ingeniero Hugo Pérez Ayala por su buena orientación y aportes teóricos de suelos.

A Petra López y María Chacón por ser siempre apoyo incondicional e importantes motivos de inspiración.

A Julmarie Longa y Jeannariana Sánchez por sus aportes, tanto gramaticales, como motivacionales llegando siempre en los momentos mas oportunos.

ÍNDICE

1. CAPITULO I. EL PROBLEMA	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2. INTRODUCCIÓN	2
1.3. OBJETIVOS	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
2. CAPITULO II. MARCO TEORICO	5
2.1. ANTECEDENTES	5
2.2. CONCEPTOS DE INTERES	6
2.2.1. Parámetros de calidad del suelo	6
2.2.1.1. Densidad del suelo	6
2.2.1.2. Porcentaje de humedad del suelo	6
2.2.1.3. Curva de Compactación (humedad vs densidad)	7
2.2.1.4. Tipo de suelo	9
2.2.2. Estabilidad	9
2.2.3. Compensación de Materiales	9
2.2.4. Equivalencia de volúmenes	10
2.2.5. La Compactación	11
2.2.5.1. Objetivo de la compactación	11
2.2.5.2. Variables que afectan el proceso de compactación	11
2.2.5.3. La sobrecompactación	12
2.2.5.4. Métodos de control de compactación	13
2.2.5.5. Suelos dispersivos	13
2.2.6. Estabilización de suelos	14

2.2.6.1. Requisitos de la estabilización.-.....	14
2.2.6.2. Tipos de estabilización	15
2.2.7. Circuitos de Maquinarias	16
2.2.8. Precios Unitarios	18
3. CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO	19
4. CAPITULO IV. DESARROLLO	21
4.1. CONCEPCIÓN DE LA OFERTA.....	21
4.1.1. Información a solicitar para generar la oferta	21
4.1.2. Comprensión del tipo de obra a ofertar	21
4.1.2.1. Topografía original y modificada	21
4.1.2.2. Características del suelo a ser utilizado	22
4.1.2.3. Análisis del estudio geológico	24
4.1.2.4. Estudio de factores referidos a la ubicación de la obra	25
4.1.2.5. Estudio y selección de lo bancos de préstamo de suelo	26
4.1.3. Visita al sitio de obra.....	26
4.1.4. Trazado de los circuitos de obra	27
4.1.5. Acuerdos previos, cláusulas y consideraciones.....	28
4.1.6. Verificación de cantidades de obra.....	29
4.1.7. Estimación de los rendimientos.....	29
4.1.8. Presentación formal de la oferta	30
4.1.9. Ejemplo	31
4.2. EJECUCIÓN DE LA OBRA.....	33
4.2.1. Análisis previo de las condiciones especiales de obra	33
4.2.2. Inicio de las operaciones de corte de material	35
4.2.3. Inicio de las operaciones de transporte	35

4.2.4. Inicio de las operaciones de relleno	35
4.2.5. Transcurso de las operaciones de corte, transporte y relleno	36
4.2.6. Aplicación de los controles de obra	38
4.2.7. Culminación de los trabajos	40
4.3. OBTENCIÓN DEL ACTA RECEPCIÓN.....	41
4.3.1. Culminación de la etapa de ejecución.....	41
4.3.2. Obtención del acta de recepción provisional y definitiva	42
5. CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. CONCLUSIONES.....	43
5.2. RECOMENDACIONES.....	45
6. REFERENCIAS BILIOGRAFICAS.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de Maquinas.....2

Figura 1. Circuito de Obra17

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1. Curva de compactación típica8

CAPITULO I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en Venezuela, se necesitan mover noventa millones de metros cúbicos de tierra para urbanizar un aproximado de tres mil cuatrocientas ochenta hectáreas anualmente y así alcanzar la cuota de más de doscientas mil viviendas por año, para lograr satisfacer progresivamente el déficit de viviendas. Esto significa un incremento en la demanda de profesionales de la ingeniería capacitados para cumplir con las exigencias del mercado, obligando a la incorporación de ingenieros recién graduados o de poca experiencia.

Si bien esto se presenta como una gran oportunidad de ingresar al mercado laboral para el ingeniero recién egresado, no es menos cierto que independientemente de las funciones que le corresponda desempeñar en una obra (proyectista, residente o inspector), el ingeniero debe tener presente una serie de factores que serán determinantes en el ejercicio.

1.2. INTRODUCCIÓN

El movimiento de tierra es una actividad conceptualmente sencilla, la materia prima a usar es la tierra, la cual se excava, se transporta y luego se dispone en otro sitio que se denomina bote, el cual, también puede ser un relleno. Ahora bien, desde el punto de vista ingenieril, lo importante es realizar este ciclo (Excavación - Transporte - Bote o Excavación - Transporte - Relleno) lo más eficiente posible y el mayor número de veces al día.

El ciclo se puede dividir en 4 etapas principales:

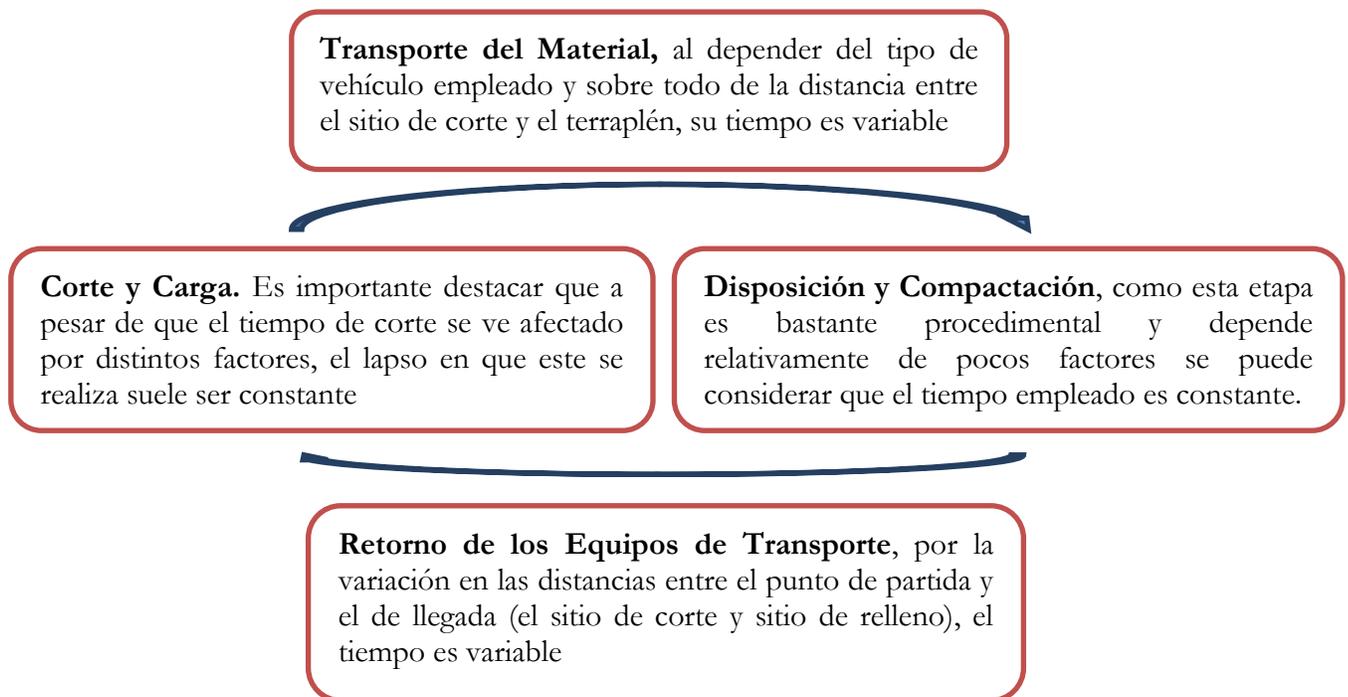


Figura 1. Ciclo de Maquinas

Una obra de movimiento de tierra puede dividirse en tres fases, la de oferta económica para ejecutar la obra, ejecución de la obra y finalmente, la de cierre y entrega de las actas de culminación. Las obras de este tipo se encuentran influenciadas por un sin fin de características, obligando muchas veces a tomar decisiones que puedan verse reflejadas en los costos de la misma. Sin duda, las características más relevantes son la calidad del

EL PROBLEMA

suelo a manejar, la ubicación de la obra, la época del año en que se va a realizar, la topografía original y modificada del sitio, entre otras.

Por razones de limitación, este trabajo especial de grado solo estará orientado a la información básica de suelos necesaria para generar una oferta, realizar la ejecución de la obra y obtener el acta de culminación; sin distinguir entre los tipos de suelo presente. Procurando siempre la calidad de la obra sin dejar a un lado la rentabilidad económica, teniendo en cuenta que en su desarrollo se hará mención a algunos factores de falla comunes en la realización de estas tres etapas, permitiendo así al lector responderse preguntas como: ¿Qué estudios debe pedir?; ¿Qué características debe considerar al ofertar o ejecutar la obra?; ¿Qué hacer una vez finalizado el trabajo?, siempre desde el punto de vista de las características del suelo.

A pesar de la importancia que acarrear aspectos como el cálculo de precios unitarios, estimación de los rendimientos, selección del grupo de máquinas, análisis de los circuitos y sus tiempos de ejecución, costos de posesión y operación de las máquinas. Estos no serán abordados en detalle, en cambio se especificará los aspectos relacionados al suelo, que inciden directamente sobre estas actividades, a fin de ser considerados al plantear los aspectos ya mencionados.

Ahora bien, es importante considerar que el cálculo errado de los costos horarios y una mala estimación de los rendimientos de las cuadrillas de máquinas que realizarán los trabajos, puede resultar en la presentación de una oferta no acorde con la realidad del mercado. Para evitar inconvenientes es necesario conocer el manejo de todas las variables que intervienen en el cálculo de los precios unitarios, que conformarán una oferta que garantice una sana administración, y al ente contratante el cumplimiento de las metas físicas de las obras a ser contratadas.

Dado que se cuenta con muy poca información teórica o fundamentación bibliográfica, será muy importante el enfoque empírico que se le dará a este trabajo especial de grado, al estar apoyado en la experiencia de profesionales con larga trayectoria en los movimientos de tierra.

“Quien aprende de sus errores, adquiere experiencia, quien aprende de los errores de otros es un sabio”. Anónimo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo general

Precisar los conocimientos básicos de suelos a considerar por el Ingeniero en obra para ofertar y ejecutar un Movimiento de Tierra según los distintos tipos de suelos que suelen presentarse y la influencia de estos en las fases que componen la operación; corte, transporte y disposición.

1.3.2. Objetivos específicos

- i. Definir los conocimientos básicos que debe considerar el ingeniero para realizar la oferta de una obra de movimiento de tierra.
- ii. Definir los conocimientos básicos que debe considerar el ingeniero para iniciar la ejecución y operación de una obra de movimiento de tierra.
- iii. Precisar los estudios previos que se deben considerar para comenzar los trabajos en una obra de movimiento de tierra.
- iv. Generar herramientas que permitan orientar al ingeniero en obra hacia una correcta interpretación y aplicación de los controles de obra.

CAPITULO II. MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES

Este Trabajo Especial de Grado es la continuación del esfuerzo que ha venido desarrollando la Asociación Venezolana de Maquinaria Pesada (AVMP) por sincerar los precios unitarios y establecer metodologías claras que permitan estimar los rendimientos de las máquinas de movimiento de tierra.

Las etapas que comprenden un movimiento de tierra giran alrededor de los precios unitarios, ya que de su cumplimiento depende el éxito de los movimientos de tierra.

Los precios unitarios se determinan dividiendo los costos (calculados) entre los rendimientos estimados. En función a esto se han venido desarrollando dos líneas de investigación por separado, Una orientada al cálculo de los costos como es el caso del Trabajo Especial de Grado “Actualización y Estandarización de Costos de Movimiento de tierra en Venezuela”, presentado ante la Universidad Católica Andrés Bello por el Ing. Rafael Madrigal en Octubre de 1994. Y otra orientada a la estimación de los rendimientos siendo el caso del Trabajo Especial de Grado “Estimación de los Rendimientos para Distintos Grupos de Maquinaria Pesada en Obras de Movimiento de Tierra. Cálculos de precios referenciales”, presentado ante la Universidad Católica Andrés Bello por Johan Stuve y Daniel Vítale en Octubre de 1994.

2.2. CONCEPTOS DE INTERES

2.2.1. Parámetros de calidad del suelo

Entre las características proporcionadas por los estudios de suelos, se puede nombrar:

2.2.1.1. Densidad del suelo

- a) Densidad Natural (Dn.): es aquella que tiene el suelo en su estado natural antes de ser perturbada .
- b) Densidad Suelta (Ds.): es aquella que tiene el suelo luego de ser perturbada y es menor que la Dn .
- c) Densidad Máxima (Dm.): es aquella que se obtiene en los ensayos de compactación realizados en el laboratorio y por lo general es mayor que la Dn .

La relación entre las densidades descritas relaciona las diferentes actividades que se ejecutarán en la obra (Banqueo, Transporte y Relleno), así como también permite estimar el rendimiento del circuito escogido para la ejecución del movimiento de tierra.

2.2.1.2. Porcentaje de humedad del suelo

- a) Porcentaje de Humedad Natural: contenido de humedad presente en el suelo por unidad de volumen en su estado natural.
- b) Porcentaje de Humedad Óptimo de Compactación: contenido de humedad requerido por en el material compactado junto con una energía de compactación definida, para obtener la densidad máxima seca de laboratorio.

Esta información indica la cantidad de agua que se requiere para la realización del terraplén. El valor del porcentaje de humedad se encuentra influenciado por la cantidad de energía de compactación que se debe aplicar al terraplén para obtener la densidad seca máxima correspondiente. A este requerimiento de agua debemos agregar la necesaria para

evitar el polvo y así la contaminación ambiental y mejorar las rutas de transporte. Madrigal Quevedo, E. (2010).

2.2.1.3. Curva de Compactación (humedad vs densidad)

Para las condiciones del ensayo, la densidad seca que corresponde a la cima de la curva se conoce como máxima densidad seca o densidad seca para el 100% de compactación, y el correspondiente contenido de humedad se designa como el contenido óptimo de humedad.

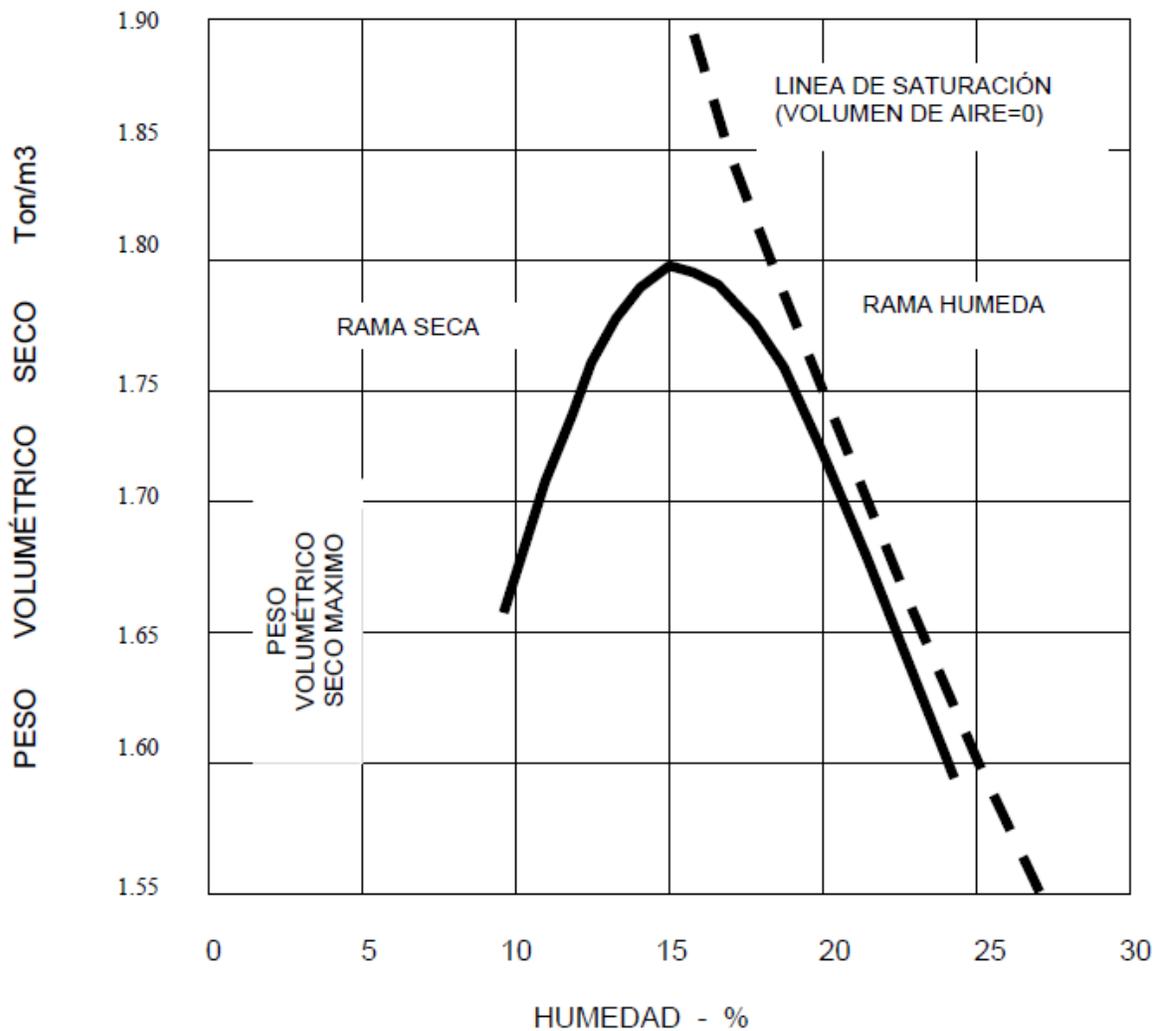
Ninguna de estas cantidades es una propiedad del suelo en sí mismo. Si, por ejemplo, todas las condiciones se mantienen inalteradas menos el peso del rodillo y se utiliza uno más liviano, el valor de la máxima densidad seca, es menor y el contenido óptimo de humedad mayor que para un rodillo más pesado. Un incremento en el número de pasadas de un rodillo liviano puede aumentar la máxima densidad seca pero, aun cuando se pudiese alcanzar un valor comparable al de la curva, es casi seguro que el contenido óptimo de humedad que corresponde al nuevo valor resultara mayor que el obtenido para un rodillo más pesado.

Cambios similares en las relaciones humedad - densidad para un suelo dado acompañan la variación en espesor de las capas y el tipo o peso del equipo de compactación.

Por tanto, el término 100 % de compactación y contenido óptimo de humedad, para un suelo dado, tiene significación específica solo en relación con un determinado procedimiento de compactación de laboratorio. No obstante, para cualquier material potencial de préstamo es esencial conocer, antes de iniciar la construcción, si para el procedimiento de compactación que se piensa especificar el contenido de humedad en el terreno es excesivo o deficiente con respecto al valor óptimo que corresponde a dicho procedimiento.

Más aun, durante la construcción de un terraplén, el ingeniero debe tener los medios para determinar si la compactación especificada se está alcanzando adecuadamente.

Estos requerimientos han conducido al desarrollo de los ensayos de compactación de laboratorio. El propósito de todo ensayo de compactación de laboratorio es determinar una Curva Humedad-Densidad, comparable a la que le corresponde al material cuando se compacta en el terreno por medio del equipo y procedimiento que se pretende utilizar, por medio de un terraplén de prueba. Naval Facilities Engineering Command, (1986).



Grafica 1. Curva de compactación típica

2.2.1.4. Tipo de suelo

Existen distintos sistemas de clasificación de los suelos, principalmente definidos en función del tamaño del grano de la partícula, como es el caso de la “Clasificación Unificada de los suelos”, este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande como una modificación y adaptación más general a su sistema de clasificación propuesto en el año 1942 para aeropuertos. Esta clasificación divide los suelos en: Los suelos de granos grueso y fino se distinguen mediante el tamizado del material por el tamiz No.200.

En el primer grupo, se hallan las gravas, arena suelos gravosos o arenosos, con pequeña cantidad de material fino (limo o arcilla). En el segundo grupo se hallan los materiales finos, limosos o arcillosos, de baja compresibilidad. Naval Facilities Engineering Command, (1986).

2.2.2. Estabilidad

La estabilidad se refiere a las pendientes de los taludes de corte y de terraplenes para evitar que se generen los círculos de falla, previniendo de esta manera que se generen deslizamientos durante la ejecución de la obra, afectando los rendimientos estimados.

Al analizar el proyecto algunas veces se presentan inclinaciones de taludes, que aunque cumpliendo con las normas mínimas de inclinación: talud de corte 1:1, talud de relleno 1,5:1, no son estables por el tipo de material. También se observa que en los taludes de corte y/o relleno, dependiendo de su altura no se han considerado las bermas correspondientes. Estos defectos de proyecto pueden causar modificaciones importantes en los volúmenes de tierra a ser excavados o varían el área de las terrazas previstas. Madrigal Quevedo, E. (sf).

2.2.3. Compensación de Materiales

Las obras de movimiento de tierra se dividen en dos grandes grupos: obras compensadas y obras no compensadas.

- a. Obras compensadas:** son aquellas en las cuales los volúmenes de tierra provenientes del banqueo de la obra son aptos y equivalentes para ser empleados en la ejecución de los rellenos previstos en el proyecto.
- b. Obras no compensadas:** son aquellas en las cuales los volúmenes de tierra provenientes del banqueo de la obra no son aptos o equivalentes para ser empleados en la ejecución de los rellenos del proyecto, generándose así los botes o préstamos de material.

Al realizar la compensación de volúmenes es necesario también tener en cuenta las densidades de los materiales en cada una de las actividades, ya que no solamente la compensación de volúmenes causado por los materiales no aptos es suficiente, hay que tomar en cuenta además los factores de contracción o expansión de los suelos, lo cual se denomina equivalencia de volúmenes. Madrigal Quevedo, E. (sf).

2.2.4. Equivalencia de volúmenes.

Como se describió anteriormente, el suelo posee distintas densidades de acuerdo a su estado:

- a.- Densidad natural.(Dn)
- b.- Densidad suelta.(Ds)
- c.- Densidad máxima.(Dm)

Debido a estas, cuando se realiza la compensación de volúmenes es necesario tomar en cuenta que cuando un material se corta, éste se expande, es decir, aumenta su volumen, y por otro lado cuando se compacta se contrae, es decir, disminuye su volumen.

Para saber cuánto es la expansión del suelo al ser excavado y así conocer cuántos metros cúbicos de tierra suelta se tendrá que transportar, se calcula el factor de expansión con la relación Dn/Ds . y para saber cuál es el factor de contracción del suelo al ser compactado se determina la relación $Dn./Dm.$, ambos valores varían según el tipo de suelo. Madrigal Quevedo, E. (sf).

2.2.5. La Compactación

2.2.5.1. Objetivo de la compactación

El objetivo Principal de este proceso es obtener un suelo estructurado de tal manera que mantenga un comportamiento mecánico adecuado a través de toda la vida útil de la obra.

Las propiedades del suelo que se busca conseguir son la resistencia, la compresibilidad y una adecuada relación esfuerzo deformación y en ciertos casos dependiendo de la obra se busca obtener buenas características de permeabilidad y flexibilidad. Con la compactación se suele favorecer mucho la permanencia de la estructura terrea ante la acción de los agentes erosivos. RICO R, Alfonso y DEL CASTILLO, Hermilio. (2010).

2.2.5.2. Variables que afectan el proceso de compactación

- a. **Naturaleza del suelo**, se refiere a la clase de suelo con que se trabaja, debido a que dependiendo el tipo varían las técnicas de compactación.
- b. **Método de compactación**, se refiere a si aplicara la compactación por impacto, por amasado o por aplicación de carga estática.
- c. **Energía específica**, se refiere a la energía que se le entrega al suelo por unidad de volumen, esta depende netamente del tipo de equipo y del tipo de suelo presente.
- d. **Contenido de agua en el suelo**, el contenido de agua al que se hace referencia es el añadido en el proceso de compactación sin tomar en cuenta el que está presente como humedad natural.
- e. **Sentido en que se recorra la escala de humedades**, basado en la curva de compactación es de suma importancia trabajar en la parte ascendente de la curva.

- f. **Contenido original de agua en el suelo.** Este parámetro puede afectar el contenido de agua total en el suelo (humedad natural + humedad añadida en el proceso de compactación) si este se ve afectado de tal manera de resultar en un suelo saturado o con exceso de agua se podría estar trabajando con el tramo descendente de la curva de compactación lo que afectaría la compactación ideal del suelo.
- g. **Partículas de gran tamaño,** interfirieren con la compactación de la fracción más fina del suelo. Para compactación de terraplenes normales el tamaño máximo no debe exceder el 50 por ciento del espesor de la capa compactada. Donde las fuentes de préstamo contienen tamaños más grandes, se debe ejecutar los ensayos de compactación antes de su aprobación.
- h. **Otras variables** son, el espesor de la capa, numero de pasadas de la maquina compactadora o la cantidad de golpes del pisón en cada capa, la temperatura y la cantidad de agua añadida. RICO R, Alfonzo y DEL CASTILLO, Hermilio. (2010).

2.2.5.3. La Sobrecompactación

Para un esfuerzo de compactación dado se obtiene una densidad seca máxima y un contenido de humedad óptimo correspondiente. Si el esfuerzo de compactación se incrementa, se incrementara también la densidad máxima seca pero el correspondiente contenido de humedad óptimo disminuye.

Así, si el esfuerzo de compactación utilizado en campo es mayor que el utilizado en el laboratorio para establecer la relación humedad densidad, el suelo en el campo se puede compactar por encima su contenido de humedad óptimo, y la resistencia del suelo puede ser inferior incluso a pesar de que se ha compactado a una densidad mayor. RICO R, Alfonzo y DEL CASTILLO, Hermilio. (2010).

2.2.5.4. Métodos de control de compactación

a) Métodos destructivos

- i. Método del Cono y la Arena
- ii. Método del frasco Volumétrico
- iii. Método del aceite

Estos métodos son poco usados en la actualidad, debido a lo engorroso de su ejecución y a lo tardío de la obtención de los resultados, siendo poco favorable para el cumplimiento de los rendimientos.

b) Método no destructivos

Estos permiten la obtención del peso unitario y la humedad del suelo directamente en campo mediante la utilización de radiaciones gamma provenientes de un elemento radioactivo que se encuentra dentro del aparato de medición. Este equipo se conoce como densímetro nuclear y existen tres tipos:

- i. Troxler,
- ii. Campbell Pacific Nuclear,
- iii. Humboldt.

2.2.5.5. Suelos dispersivos

La tendencia a la erosión dispersiva en un suelo dado depende de muchas variables, tales como la mineralogía, la química de la arcilla y las sales disueltas en el agua de los poros del suelo y la erosión del agua. Para una mejor comprensión de ésta, es necesario conocer estas variables para identificar mejor a este tipo de suelo.

Las arcillas dispersivas son fácilmente erosionables debido al estado físico-químico de la fracción de la arcilla de un suelo, que causa un desfloculado (dispersión) de las partículas individuales de la arcilla y se rechazan en la presencia del agua.

Las arcillas en este estado son altamente erosivas por los bajos gradientes hidráulicos del flujo del agua y en algunos casos por el agua en reposo. Cuando el suelo de arcilla dispersiva es sumergido en agua, la fracción de arcilla tiende a comportarse de manera semejante a las partículas granulares, es decir las partículas de arcilla tienen una atracción mínima de electro-química y fallan hasta adherirse cercanamente o enlazarse con otras partículas de suelo. Así, el suelo de arcilla dispersiva erosiona con la presencia del agua que fluye cuando las plaquetas individuales de la arcilla son partidas y transportadas.

2.2.6. Estabilización de suelos

2.2.6.1. Requisitos de la estabilización.-

El modo de modificar y el grado de modificación necesarios dependen del carácter del suelo y de sus deficiencias. Si el suelo no es cohesivo, esto se puede lograr dándole cohesión por medio de un agente cementador o ligante. Si es cohesivo se puede aumentar su resistencia haciendo el suelo resistente a la humedad alterando la película de agua absorbida, aumentando la cohesión con un agente cementados y aumentando la fricción interna.

La inmunidad a la retracción y la expansión se pueden lograr cementando, modificando la capacidad del mineral arcilloso para la absorción de agua haciendo el suelo resistente a los cambios de humedad. La permeabilidad se puede reducir llenando los poros con un material impermeable o modificando la estructura del mineral de arcilla y el agua absorbida para impedir la floculación. Se puede aumentar la permeabilidad quitando los granos finos o creando una estructura conglomerada.

Un agente estabilizador satisfactorio debe proporcionar las cualidades requeridas y además debe satisfacer las condiciones siguientes: 1.- Debe ser compatible con el material del suelo; 2.- Debe ser permanente; 3.- Debe ser fácil de manejar y preparar; 4.- Debe tener bajo

costo. Ningún material llena todos los requisitos y la mayoría son deficientes en la última condición, el costo. Los principales métodos y materiales son:

- a) Aditivos para retener la humedad.
- b) Aditivos resistentes a la humedad.
- c) Cementación.
- d) Congelación.
- e) Relleno de los poros.
- f) Alteraciones físico químicas: Estabilización química.

2.2.6.2. Tipos de estabilización

- a) Estabilización suelo cemento

En esta estabilización se emplea cemento Portland para formar una mezcla como concreto en el propio lugar; en esta mezcla el suelo es el árido. Este tipo de estabilización ha tenido mucho éxito en la construcción de pavimentos de bajo costo para tránsito ligero y como capas rígidas de base para tránsito pesado.

En el suelo cemento modificado se emplea alrededor de 4 por ciento del peso del material suelto, porque se produce un cemento puzolánico al reaccionar la cal con la sílice de la ceniza.

- b) Cementación con asfalto

Los ligantes bituminosos se han usado para sub-rasantes y pavimentos de bajo costo.

La estabilización asfáltica tiene su mayor uso en suelos arenosos con poca o ninguna arcilla.

- c) Cementación química

La cementación química consiste en unir las particular del suelo con un agente cementante (por lo general Cal), que se produce por una reacción química dentro del suelo. La reacción no incluye necesariamente las partículas del suelo, aunque en la unión o ligazón si están implicadas las fuerzas intermoleculares del suelo.

d) Estabilización mecánica

Es el mejoramiento del suelo por el cambio de graduación. Consiste generalmente en mezclar dos o más suelos naturales para tener un material compuesto que sea superior a cualquiera de sus componentes; pero también incluye la adición de roca triturada o escoria o la tamización del suelo para remover partículas de cierto tamaño.

e) Estabilización electroquímica

Implica un cambio de base producido por una corriente eléctrica. Los cationes de aluminio se desprenden de un electrodo positivo de aluminio y emigran en el suelo, hacia el electrodo negativo y en el curso de sus movimientos se efectúa el cambio de base. Al mismo tiempo el drenaje electroósmosis hacia el electrodo negativo que tiene la forma de un poso.

2.2.7. Circuitos de Maquinarias

El termino circuito se refiere al operación conjunta de la maquinaria que conforman el ciclo (corte, transporte y disposición), a fin de llevar un volumen de material desde el sitio de corte hasta que este se encuentre dispuesto en terraplén o bote. Definiéndose las rutas a usar para el transporte y los cortes que surtirán de material a un terraplén en específico, procurando siempre el mayor rendimiento global.

El ciclo se puede dividir en 4 etapas principales, que se muestran en la Figura 1. Ciclo de Maquinas.

En la Figura 2 se muestra la lógica utilizada en el planteamiento preliminar de los circuitos de la obra:

El circuito 1, es gobernado por la dificultad del relleno, debido al reducido espacio que se encuentra disponible en el sitio de disposición del material, por lo que es conveniente combinarlo con el corte más lejano, esto permitirá que el tiempo de transporte se asemeje al de compactación.

El circuito 2, es controlado en su mayoría por el transporte, al poseer distancias de transporte moderadas, junto con cortes y compactación de mediana dificultad, obtenido así rendimientos particulares similares.

El circuito 3, está claramente gobernado por la dificultad del corte (al ser la zona más profunda se suelen tener los materiales de mejor calidad y dureza), combinado con una compactación de menor dificultad, pero a su vez de mayor requerimiento de material. Por lo que para garantizar un buen rendimiento global del ciclo demanda un gran número de viajes de la maquinaria de transporte, siendo posible debido a que se tienen las menores distancias entre el sitio de corte y el de terraplén.

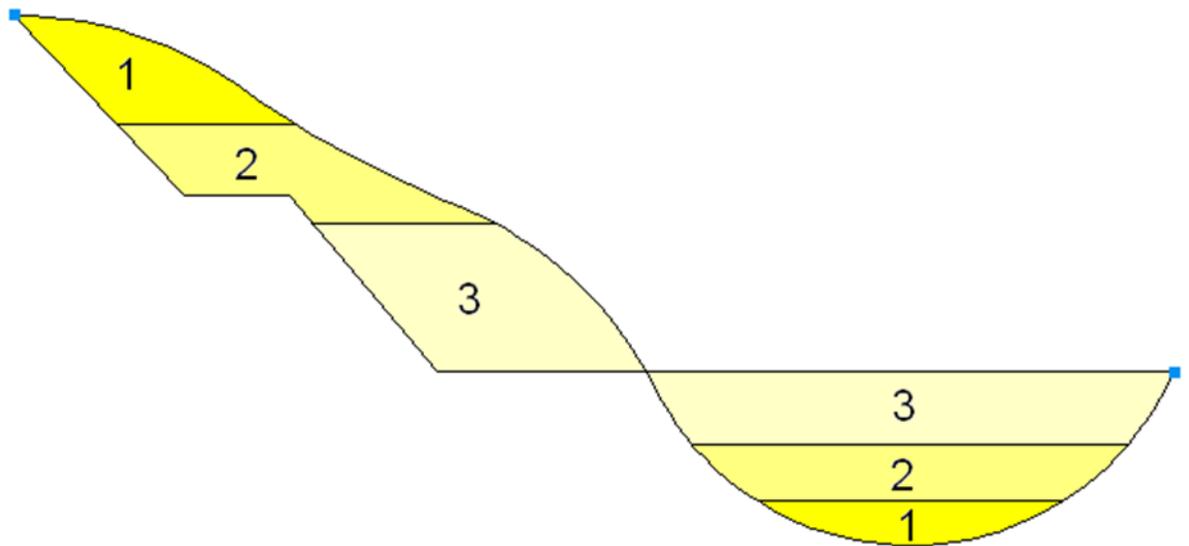


Figura 2. Circuitos de Obra

2.2.8. Precios Unitarios

El Precio Unitario (Pu) se calcula dividiendo los costos diarios en que se incurre al ejecutar una actividad, por el rendimiento o número de unidades que eficientemente se pueden ejecutar diariamente; los costos se expresan en Bs./ día, el rendimiento en Und./ día y los Pu se expresan en Bs./Und..

El método de cálculo de costos de una obra de movimiento de tierra más usado, es el Análisis de Precio Unitario (APU), en donde se toman en consideración: materiales, maquinaria, mano de obra, administración, gastos generales y utilidad, todos ellos afectados por el rendimiento promedio de la obra. Para este rendimiento se debe estudiar los tiempos de cada uno de los distintos circuitos analizados, tomando en cuenta las maquinas a utilizar, la topografía del terreno y las características del tipo de suelo a trabajar.

- a) Materiales: incluye los materiales distintos al suelo a emplear en la ejecución de la partida. En las partidas principales de movimiento de tierra es raro el caso de materiales, sobre todo en las del ciclo básico.
- b) Maquinaria: se coloca el costo diario de las maquinas seleccionados que garantizan el rendimiento estimado. Estos costos provienen del programa de costos horarios y su respectiva planilla, y cuyo desglose se explicara más adelante.
- c) Mano de obra: es el personal requerido para la operación de las maquinas, no de su mantenimiento, y cuyos salarios están definidos en el tabulador de la Convención Colectiva de la Industria de la Construcción a lo que debe sumarse los costos de prestaciones, seguros y beneficios impuestos por las leyes.

Todos estos costos calculados se dividen por el rendimiento estimado, obteniendo el costo unitario. A la mano de obra se le afecta con el Factor de Costos Asociados al Salario, y todos estos costos unitarios se suman para luego aplicarles el porcentaje de administración y el de utilidad, previamente establecido entre las partes.

CAPITULO III. MARCO METODOLOGICO

En el desarrollo de este trabajo especial de grado se procederá de la siguiente manera:

Recopilación de información teórica disponible en bibliografía y otros trabajos de grado, tales como los aspectos que caracterizan un suelo y conceptos geológicos de relevancia, así como la descripción conceptual de las actividades que conforman el movimiento de tierras.

Se llevaran a cabo reuniones con profesionales de larga trayectoria en el área de los movimientos de tierras, tales como gerentes de proyecto, residentes de obra, constructores y especialistas en controles de calidad. Los cuales basados en su conocimiento y experiencia proporcionaran sus impresiones acerca de la importancia de la consideración de los aspectos relacionados al suelo.

Se plantean reuniones con los siguientes profesionales:

- ✓ Ing. Carlos Rodríguez (Especialista en controles de calidad)
- ✓ Ing. Rafael Madrigal (Ingeniero residente)
- ✓ Ing. Eduardo Madrigal (Especialista en gerencia de proyectos)
- ✓ Carlos Vidao (Director de Constructura R.C.N. c.a.)

Se visitaran obras de movimiento de tierra, a fin de sensibilizarnos con la dinámica de la ejecución del ciclo básico que conforma los circuitos de obra. Siendo las obras a visitar:

- ✓ “Preparación de sitio, proyecto planta de extracción profunda Soto”; Cantaura, Edo. Anzoátegui.

- ✓ “Movimiento de tierra de tierra para la zona industrial de Ciudad Caribia”;
Ciudad Caribia, Dtto. Capital.

Luego se recopilaran, analizaran y ordenaran según correspondan en las tres etapas en las que ha sido dividido el movimiento de tierra a fines de este estudio (concepción de la oferta, ejecución de la obra y obtención del acta de culminación recepción).

CAPITULO IV. DESARROLLO

4.1. CONCEPCIÓN DE LA OFERTA

“Considerar la información proporcionada por los estudios de suelos geológicos así como la topografía original y modificada, permite un cálculo acertado de los costos y una apropiada estimación de rendimientos, obteniendo precios unitarios apegados a las condiciones reales de ejecución”.

4.1.1. Información a solicitar para generar la oferta

- a) Del proyecto, la topografía original y modificada de la obra.
- b) La caracterización de los distintos materiales con los que va a trabajar en la obra.
- c) El estudio geológico detallado del sitio de obra.
- d) Cualquier información adicional y/o característica especial que el ofertante considere necesaria.

4.1.2. Comprensión del tipo de obra a ofertar

4.1.2.1. Topografía original y modificada

La interpretación adecuada de la topografía brinda las herramientas necesarias para la elaboración acertada de la oferta.

“Los ingenieros no necesitan ser topógrafos, lo que necesitan es saber interpretar la información que suministra la topografía para poder tomar decisiones acertadas”. (Ing. Eduardo Madrigal)

Es indispensable que antes de analizar los cálculos métricos se haga una revisión detallada de la topografía del sitio de obra, que permitirá:

- a) Definir el tipo de obra a ejecutar
- b) Revisar si los volúmenes de tierra son compensados o no
- c) Calcular las cantidades de obra, para realizar el presupuesto a cotizar
- d) Conocer el grado de dificultad de las excavaciones
- e) Seleccionar la maquinaria de corte adecuada
- f) Definir la secuencia de movimientos de masas
- g) Establecer las rutas de transporte más cortas y eficientes
- h) Seleccionar la maquinaria de transporte adecuada
- i) Estudiar las características de los sitios para la disposición final del material excavado (rellenos o botes)
- j) Escoger según el grado de dificultad de la disposición y el tipo de suelo, la maquinaria de compactación que genere el mayor rendimiento global.

4.1.2.2. Características del suelo a ser utilizado

Al ofertar una obra de movimiento de tierras, es fundamental el conocimiento de las condiciones de compactación y manejo del suelo, por lo tanto se hace necesario poseer una caracterización del material a compactar ya sea propio del sitio o material de préstamo.

Entre las características proporcionadas por los estudios de suelos, deben encontrarse las siguientes:

a) Tipo de suelo a ser tratado

Es decisivo, ya que dependiendo de la predominancia de material granular o cohesivo se definirán los métodos de compactación a utilizar, permitiendo verificar que

existan las partidas pertinentes a las actividades a desarrollar y en combinación con las características propias del material, podrán estimarse los rendimientos.

b) Variaciones de materiales a lo largo de la obra

Es de gran importancia la detección en una etapa temprana de los distintos tipos de material que puedan presentarse en el sitio de obra, de tal manera que pueda realizarse las pruebas de laboratorio pertinentes y determinar cuáles de estos y en qué cantidad serán usados en terraplén.

c) Densidades del suelo (dn, ds, dm)

Conocer la relación entre las densidades natural (DN), densidad suelta (DS) y densidad máxima (DM), permite establecer una relación directa entre las actividades que comprenden la ejecución. Por ejemplo; conociendo los volúmenes necesarios de material compactado y la relación entre las densidades se pueden calcular los volúmenes de material que debe ser cortado y transportado, considerando los efectos de expansión y contracción del material (ver equivalencia de volúmenes en marco conceptual), permitiendo así realizar la estimación de los rendimientos globales de los circuitos.

d) Humedad natural y humedad óptima

Estas características permiten estimar la cantidad de agua necesaria, tanto para agregar directamente al terraplén o corte (a fin de proporcionarle la humedad óptima de compactación), como para reducir la propagación de polvo, disminuyendo así la contaminación ambiental producida por la obra y mejorando las rutas de transporte.

e) Suelos de tratamiento especial

Prácticamente cualquier suelo no orgánico e insoluble se puede incorporar en terraplén. Los suelos que se nombran a continuación pueden necesitar tratamientos especiales para permitir su incorporación como material de relleno, lo cual debe ser considerado en el cálculo de los costos y la estimación de rendimientos.

- i. **Suelos de grano fino**, generalmente de resistencia al corte insuficiente o compresibilidad excesiva, por lo que requeriría mezclar con materiales de mejor calidad a fin mejorar su comportamiento.
- ii. **Arcillas de plasticidad media a alta**, se pueden expandir si se colocan a bajas presiones de confinamiento y / o contenidos de humedad bajos. De no ser viable la sustitución del material por uno de préstamo, es posible estabilizar por métodos químicos.
- iii. **Los suelos plásticos con alta humedad natural** son difíciles de trabajar, suelen poseer una humedad natural por encima de la óptima de compactación, siendo necesario disminuirla mediante un proceso de secado.
- iv. **Suelos con potencial dispersivo (suelos eólicos)**, pierden la resistencia al corte cuando entran en contacto con el agua por lo que requieren estabilización química previa a su uso.

La aplicación de tratamientos especiales sin duda acarrea costos adicionales y posiblemente actividades no previstas normalmente, por lo que es conveniente estudiar la factibilidad económica de reemplazarlos con material de préstamo y elegir la solución más óptima desde el punto de vista económico y operacional.

4.1.2.3. Análisis del estudio geológico

Deben proporcionar información sobre la morfología de la zona, descripción de las posibles amenaza (estructuras geológicas como diaclasas, pliegues y fallas), descripción del grado de dificultad de los cortes planteados, descripción de los afloramientos rocosos, en donde se resume las características de las rocas, la presencia de planos de debilidad, composición, así como cualquier aspecto de interés.

De igual manera considerar factores externos como: edificaciones lindantes, tráfico, etc.; A fin de tener nociones de la calidad de laderas al observar taludes existentes, y de prever dificultades constructivas e incluso la viabilidad de los métodos de ejecución que se plantean, permitiendo definir las actividades a ejecutar y sumado a la dificultad de los

trabajos (si requiere estratificado o voladura), calcular los costos asociados y estimar los rendimientos de dichos cortes.

En el caso de ser necesario la voladura se debe obtener los permisos requeridos con suficiente antelación; aunque las operaciones con explosivos son realizadas por empresas especializadas, las mismas deben aportar las autorizaciones requeridas para su ejecución en tiempo y forma.

Es de gran importancia que toda la información geológica levantada se encuentre especificada en coordenadas REGVEN y sobre los planos de topografía en forma esquemática.

También es relevante, a la hora de la realización de la oferta, considerar la estabilidad de los taludes de corte de los terraplenes de relleno y de las excavaciones, ya que es posible que pequeños descuidos al realizar el diseño del proyecto genere errores significativos en el cálculo de los costos. Tal es el caso de obras que cumplen con los valores mínimos normativos de inclinación, pero aun así debido a las estructuras geológicas presentes estos no resultan estables. Adicionalmente siempre es imprescindible que se cumpla con las bermas correspondientes a la altura del talud principal tanto en el corte como en el relleno.

4.1.2.4. Estudio de factores referidos a la ubicación de la obra

a) Análisis de la información climatológica de la zona

La información climatológica brinda una idea de la condición de humedad que presentara el terreno en una época específica del año (suelos saturados, parcialmente saturados o bien, bastante secos), esta se encuentra relacionada al grado de dificultad de los trabajos, por lo que permitirá prever las actividades necesarias a realizar, incluyendo así las partidas asociadas, además del cálculo de los costos y estimación de rendimientos a presentar de la oferta.

b) Estudio de las Rutas de acceso al sitio de obra.

La viabilidad de acceso al sitio de obra es fundamental, ya que de existir, es posible que la misma no sea apta para el paso de la maquinaria; bien sea porque los puentes existentes no estén en capacidad de soportar el peso o porque las condiciones de la vía no permitan el paso de los *lowboy* que transportan la maquinaria. Por lo cual estas características pueden influir en la selección de la maquinaria, pudiendo ser necesaria la adecuación de las vías existentes o incluso puede darse la necesidad de construir nuevas vías de acceso al sitio de obra.

c) Estudio de la disponibilidad de fuentes de agua

No disponer de fuentes de agua cercanas a la obra puede generar altos costos en el transporte de la misma, por lo cual se puede convertir en un factor importante en cuanto a costos de la obra.

4.1.2.5. Estudio y selección de lo bancos de préstamo de suelo

Localizar un banco de préstamo, es más que solo descubrir un lugar en donde existe un volumen razonable y explotable de suelos que puedan utilizarse en la construcción de terraplenes, cumpliendo con las condiciones de calidad y volúmenes requeridos, implica que los elegidos deben garantizar ser los más adecuados a las necesidades particulares de la obra.

Para lo cual es recomendable seguir las siguientes sugerencias:

- a) Se debe procurar la cercanía del préstamo al de sitio de obra, así como fácil acceso y una explotación sencilla a fin de disminuir costos.
- b) Preferir materiales que impliquen métodos constructivos más sencillos y económicos durante el tendido en obra, requiriendo los mínimos tratamientos.
- c) Los bancos deben estar localizados de manera que no conduzcan a problemas legales de difícil o lenta solución y que perjudiquen a los habitantes de la región.

La búsqueda y localización de bancos de materiales puede hacerse por fotointerpretación o por reconocimientos terrestres directos, resultando más eficiente combinar ambos métodos.

4.1.3. Visita al sitio de obra

La visita al sitio de obra antes de presentar la oferta es imprescindible, permite verificar la información suministrada por los estudios geológicos y geotécnicos, así como la validez de la topografía previamente analizada, sobre la que se ha generado el proyecto, evitando errores en el cálculo de las cantidades de obra y al estimar los rendimientos, dado que se podría estar subestimando la dificultad de las actividades o pasando por alto posibles fuentes de falla que podrían derivar en obras secundaria que deben ser consideradas.

4.1.4. Trazado de los circuitos de obra

Al plantear los distintos Circuitos que comprenderán la obra, deben siempre concebirse procurando combinar las operaciones con rendimientos individuales similares, a fin de mejorar el rendimiento global de la obra y aprovechando al máximo la actividad de todos los equipos y la totalidad del personal, por ejemplo:

Es conveniente tener dentro de un mismo circuito la compactación de mayor dificultad junto con el transporte de mayor recorrido, dado que los tiempos de viajes del transporte se asemejaran al tiempo de compactación, mejorando el rendimiento general del ciclo. Si por el contrario se combina la compactación de mayor dificultad con el recorrido más corto, estaría llegando al sitio de terraplén más material del que puede ser compactado, por lo que se tendría que detener el transporte hasta que se complete la compactación.

En el caso de tener material almacenado a la espera de ser compactado puede entorpecer la maniobrabilidad de las maquinas o interferir con otras actividades, desaprovechando la maquinaria y el personal disponible, de ser inevitable podría compensarse la diferencia en los tiempos particulares, asignando otras actividades a la maquinaria y el personal que se encuentre parcialmente en desuso según sea el caso.

De realizar almacenamiento de material en la misma obra a fin de utilizarlo en futuros rellenos, se elige una zona que ha de ser delimitada y que no afecte a ninguna unidad de obra, ni interfiera en las tareas que se realizan en forma simultánea en el sector, procurando siempre la mayor cercanía a los sitios de terraplén.

El costo estipulado del transporte de material para vertedero (bote), está en función de la distancia de la obra al sitio de bote; cuando se realiza el presupuesto, se estima a priori una distancia máxima, que de resultar superior en fase de obra, se modificará al nuevo precio.

Recordar que el costo del transporte de material excavado es distinto que el retiro de tierras sobrantes al final de la obra; que podrán ser empleadas en otras obras o dispuestas en vertederos.

Al trazar los circuitos de obra, es necesario trabajar siempre el transporte de material de forma descendente, permitiendo así optimizar el rendimiento de la maquinaria de transporte. Incluso puede existir la posibilidad de hacer modificaciones a la vialidad interna del circuito a fin de cumplir con esta premisa, siempre que esta se justifique económicamente.

4.1.5. Acuerdos previos, cláusulas y consideraciones

Es importante acordar que el control de calidad sea llevado por métodos estadísticos y no determinísticos como se ha llevado tradicionalmente, ya que existe una gran variedad de factores que podría afectar los resultados de las pruebas en un punto específico, sin significar que la calidad del trabajo en general no sea la adecuada.

De igual manera acordar que la escogencia de los puntos donde se realicen los controles de compactación, sean determinados usando el método de números casuales, a fin de evitar la parcialidad en la escogencia de los mismos.

Debe fijarse el número de controles y la frecuencia con que se realicen a fin de contar con un estimado de los costos asociados a la realización y pueda ser incluido como parte de la oferta.

Una forma de resguardar las espaldas de la empresa constructora es incluir la “*Cláusula de Lucro cesante*”, la cual se refiere a una condición colocada al contratante, que lo obliga a hacerse responsable económicamente del tiempo en que los equipos (maquinaria) se detengan por alguna razón que no involucre al contratado. Lo que se busca evitar con esta cláusula una pérdida económica para el contratado, debida a la inadecuada disposición de la maquinaria por errores propios del ente contratante.

4.1.6. Verificación de cantidades de obra

Haciendo uso de la información topográfica, la información obtenida en la visita al sitio de obra, y la proveniente de los estudios tanto geológicos como geotécnicos, es posible el cálculo y la verificación de las cantidades de obra que se proponen para ser presupuestadas, ya que, de esta manera están siendo consideradas las características del suelo que juegan un papel determinante, así como cualquier posible error significativo en los planos de topografía o incluso en los estudios geológicos y geotécnico.

Evitando de esta manera errores en el cálculo de las cantidades de obra y permitiendo generar una oferta lo más apegada posible a las condiciones reales que se tendrán en la fase de ejecución.

4.1.7. Estimación de los rendimientos

Es importante resaltar que los rendimientos no han de ser calculados, en cambio estos serán “estimados” dado que los mismos dependen de las condiciones de trabajo que se asumen.

La estimación de los rendimientos consistirá en; determinar de forma aproximada la cantidad de unidades producidas en un intervalo de tiempo definido, considerando los factores que afectan la actividad.

Por ejemplo, para la estimación del rendimiento de la maquinaria es necesario conocer el tipo de máquina, el recorrido y características del terreno, la cantidad de obra y el tipo de material, la capacidad operativa de la máquina, y en algunos casos se solicita cumplir con un plazo de entrega de la obra a ejecutar.

Como puede notarse algunos de estos factores son claramente cuantificables o pueden definirse con gran certeza, como es el caso del tipo de máquina y los plazos de entrega de la obra, sin embargo la mayoría de estos están sujetos a posibles variaciones como es el caso del recorrido de las maquinas, la cantidad de obra y características de terreno ya que van a depender directamente del tipo de material presente y de su variabilidad a lo largo de la obra.

Esto hace que la estimación de los rendimientos se convierta en todo un arte y es allí donde se hace necesario recurrir a la experiencia previa que se tenga en obras de características similares. Es importante resaltar que tradicionalmente se han trabajado los rendimientos de las fases que comprenden el ciclo básico (corte, transporte y disposición) por separado, siendo esto un hecho alejado de la realidad puesto que son dependientes entre sí, ya que, si en alguna de estas fases se produce un retraso esto va afectar el rendimiento del ciclo entero, por lo que sería adecuado trabajar estas partidas con rendimientos equivalentes considerando así la dependencia entre ellas.

Al plantear los rendimientos de cualquiera de las partidas de una obra de movimiento de tierras debe pensarse en todo momento como si se estuviese en obra, dado que del cumplimiento de los rendimientos estimados marcaran el éxito o el fracaso económico que representa la ejecución de un proyecto. Es allí donde entra en juego todos los estudios previos realizados, visitas a sitio de obra he incluso la experiencia previa del profesional, ya que, en la medida en que mejor podamos predecir la complejidad del manejo del material más se asemejaran los rendimientos estimados al presupuestar a los obtenidos al ejecutar la obra.

4.1.8. Presentación formal de la oferta

DESARROLLO

Una vez se ha hecho el recorrido por todo el proceso previo; comprensión del tipo de obra a ofertar, trazado de los circuitos de obra, planteamiento de los acuerdos previos, verificación de cantidades de obra y estimación los rendimientos finalmente puede vislumbrarse la posibilidad cierta de empezar a estructurar el presupuesto ya en cifras.

Para lograr este fin las partidas deben plantearse en términos de “Precios Unitarios”, es decir se planteara en bolívares por unidad de medición (BS/Unidad) lo cual permitirá que al multiplicar por las cantidades de obra ya verificadas obtengamos el costo de las distintas partidas y finalmente el costo global de la obra.

Es importante destacar que al establecer los precios unitarios de las partidas debe conocerse bien sus rendimientos, así como los implementos y el personal necesarios para su ejecución, siendo estos en una obra de movimiento de tierra totalmente dependientes del tipo de suelo a ser manejado, así como de su variabilidad a lo largo de la obra.

Se debe tener especial cuidado al hacer uso de softwares que incorporan en sus bases de datos valores referenciales de rendimientos o de costos, los cuales no deben ser tomados más que como su palabra lo dice “**una referencia**”, ya que no consideran todos los factores asociados al suelo que pueden afectar una obra de movimiento de tierras. Siendo indispensable en todo momento el buen criterio del ingeniero, siempre de la mano de los resultados de estudios serios y precisos que permitan la toma acertada de decisiones.

4.1.9. Ejemplo

La mejor forma de percibir la importancia de considerar todos los factores antes mencionados, es visualizar mediante el siguiente ejemplo la forma en que estos son analizados e interpretados, a fin de lograr un presupuesto bien sustentado y apegado a las condiciones reales que se tendrán al momento de ejecutar.

Obra: Movimiento de tierra para la nueva sede de la Embajada Americana

Antecedentes: Licitación internacional, se participa como subcontratista de empresa norteamericana y responsable para la elaboración de la oferta de las obras de movimiento de tierra.

Las especificaciones del estudio geológico indicaban la presencia de esquistos y por lo tanto se procedió a elaborar todo un proceso constructivo con voladura y la construcción de piedraplenes.

Surco S.A. fue la empresa que ejecuto todo el movimiento de tierra de la urbanización donde se construiría la sede de la embajada y por lo tanto sabía perfectamente que no hacía falta realizar ningún tipo de voladura, pero también sabía que no se iba a conseguir material para la construcción de piedraplenes y que por lo tanto las especificaciones no se iban a poder cumplir.

Hay que entender que en obras internacionales las primas de los seguros van íntimamente relacionadas con las especificaciones, el proyecto diseñado y el cumplimiento estricto de las especificaciones y los factores de seguridad. Este hecho se sabía que iba a implicar un cambio de las especificaciones, ya que si había esquistos, pero en el Sur este meteoriza distinto a como lo hace en el Norte y eso implicaba que al ser perturbado con equipo de corte y escarificador se convertía en un suelo arenoso y no rocoso.

Elaboración de la oferta

Conociendo bien el tipo de material se procedió a considerar una excavación sin el uso de explosivos, sin el uso de sensores sísmicos que indicaría la magnitud de la voladura para el caso de reclamaciones de las edificaciones vecinas, y se oferto un precio intermedio entre excavación en roca sin explosivos y excavación en roca con explosivos.

Conociendo la problemática de las pólizas de seguro y de las especificaciones, igualmente se estimó que habría un tiempo de paralización de la obra mientras se ajustaba el proyecto a las normas de seguridad. Por esta razón se propuso la creación de una partida que consideraba el pago del “Lucro Cesante” para los equipos y personal presente en la obra luego de la firma del Acta de Inicio. Esta solicitud fue aprobada.

Los plazos de ejecución se fijaron a las especificaciones y sus posibles variaciones, de nuevo aceptaron la propuesta. Toda variación de especificación acarrea una variación de rendimientos y por lo tanto la revisión de nuevos precios unitarios para la obra.

4.2. EJECUCIÓN DE LA OBRA

“Siguiendo el plan de ejecución establecido en la oferta y realizando estrictamente lo que él contiene, se contribuye como mínimo, con el cumplimiento de los rendimientos estimados, haciendo que la obra de movimientos de tierra se desarrolle con la mayor normalidad y eficiencia posible, debe recordarse que el objetivo primordial de un ingeniero en una obra de movimientos de tierra es que los recursos que se están usando para ejecutarla sean los justos y necesarios para reportar una utilidad correcta sin afectar la calidad del trabajo ”.

4.2.1. Análisis previo de las condiciones especiales de obra

Se debe tener un conocimiento previo de las características de la zona, con la finalidad de disponer del grupo de maquinarias más eficiente, para el corte, carga, transporte, relleno y compactación del material. Además de las características propias del suelo, es de suma importancia conocer su geología y las estructuras geológicas que puedan estar presentes en el sitio de corte, las cuales, de no ser tomadas en cuenta podrían afectar la estabilidad de la zona provocando retrasos en los rendimientos o peor aún, afectando la seguridad e integridad de los equipos o personas que se encuentren presentes.

En muchos casos, el encargado de ejecutar la obra no es quien elabora la oferta, esto obliga al ejecutante a revisar detalladamente todos los aspectos, estudios y condiciones de obra desarrollados para generar la oferta, con la finalidad de cumplir las especificaciones presentes en ella.

Para comenzar los trabajos de movimiento de tierra es importante contemplar todos y cada uno de posibles riesgos u obstáculos que pudieran existir, sobre todo en cuanto a las características del suelo, por la heterogeneidad que lo caracteriza, se pueden encontrar varios tipos en un solo lote de material de corte, por lo que es recomendable plantear y prepararse para todos los posibles escenarios.

Dependiendo de la ubicación, es probable que se necesite la construcción de vías de acceso a la obra, por lo que antes de comenzar con el movimiento de tierra, es necesario

construirlas, siguiendo el mismo procedimiento que aplican en una obra de movimiento de tierra común, verificando la estabilidad y características de la misma.

El clima y la ubicación de la obra, pueden ser factores determinantes en el cumplimiento de los rendimientos estimados. En vista de la dificultad adicional que aporta la estación lluviosa, es probable que la obra pueda retrasarse o hasta detenerse si esta se ubica en estados donde la estación es más marcada, razón por la cual se deben tomar las previsiones pertinentes si es inevitable que coincidan el inicio de la ejecución con la temporada lluviosa, mantener un control especial con la humedad del suelo, puede ser una de ellas. En general, muchas veces no trabajar en esta época es lo más acertado, ya que por la probable discontinuidad de los trabajos, los rendimientos estimados pueden verse gravemente afectados.

Dependiendo de la época del año, se debe utilizar la humedad mínima o la humedad máxima, es decir, en período de invierno se debe utilizar la humedad mínima, y por el contrario, en período de verano se debe trabajar con la humedad máxima.

Antes de empezar la ejecución, es de suma importancia definir los puntos de toma de agua e incluir, al menos de manera indirecta, el tiempo de carga de la misma en el circuito de maquinarias para cumplir con los requerimientos de esta en la obra, bien sea para evitar la propagación de polvo o para alcanzar la humedad óptima en la compactación.

Se debe garantizar el mantenimiento diario, al menos de los equipos que integren el circuito principal de ejecución de la obra, lubricación, refrigeración y combustible son los más importantes, además de estos, es necesario integrar algunos equipos que pudieran reemplazar a otros por desperfectos, para no afectar la continuidad y más importante aún, el rendimiento propio del trabajo.

4.2.2. Inicio de las operaciones de corte de material

Es necesario realizar el corte de material de tal manera que el transporte se realice de forma descendente para que los equipos agilicen su desplazamiento.

Dependiendo del material que se esté trabajando, es posible incorporar cierta cantidad de agua en el sitio de corte además de la añadida posteriormente en el relleno o terraplén, tal que se garantice la uniformidad en la humedad óptima de compactación. La cantidad de agua total será estimada por el laboratorio, basado en el resultado del estudio de humedad natural.

Si el material presente en el corte es roca dura o si simplemente se desea excavar en ella y el método a utilizar es voladura, se debe considerar que esta involucra grandes riesgos, por lo que debe ser confiada a personal capacitado. Por ello se establece un plan de seguridad antes de comenzar con las detonaciones. Una vez terminadas las detonaciones, se procede a cargar el material resultante. En general, se carga y se dispone de manera similar a un movimiento de tierra común. Ahora bien, debe tenerse en cuenta que las especificaciones para realizar un piedraplén son diferentes a las de un terraplén.

4.2.3. Inicio de las operaciones de transporte

Para un mejor control del rendimiento de la obra por parte de la empresa ejecutora, es posible llevar un registro (tanto en la salida en el sitio de corte como en la llegada al terraplén) del número de viajes realizados por el equipo de transporte garantizando que el volumen de material cortado y cargado sea el que se deposite en el relleno, permitiendo tener un orden de magnitud de los volúmenes manejados, bien sea diariamente o en un periodo previamente estipulado.

4.2.4. Inicio de las operaciones de relleno

Antes de comenzar la disposición y compactación del terraplén madre, es de gran ayuda generar en obra una curva de compactación específica, por cada material presente, con la finalidad de controlar el número de pasadas y la cantidad de agua que se debe añadir al terraplén o relleno para trabajar dentro del rango óptimo de compactación, sin afectar los

rendimientos, por lo contrario, se pueden alcanzar mejores. Comúnmente para generar esta curva se elabora un terraplén de prueba sobre el mismo terraplén madre.

4.2.5. Transcurso de las operaciones de corte, transporte y relleno

Control en los taludes de corte, debe siempre verificarse que se esté cumpliendo con las inclinaciones correctas en los mismos para no afectar la integridad de la obra o estructuras que ahí pudieran erguirse.

Si existiese un material para relleno de calidad media-baja, este se puede mezclar con otro de mayor calidad que se encuentre dentro de la obra, a fin de mejorar el comportamiento general. Siempre y cuando esta solución resulte más económica que sustituir el mismo por uno proveniente de préstamo. Las proporciones serán indicadas por el laboratorio de suelos según la calidad de la mezcla que se desea obtener.

En el posible caso que lloviera en el sitio de trabajo, por razones de seguridad, la obra puede detenerse mientras perdure la precipitación, esto debido a que los equipos de transporte pierden significativamente la tracción en las vías lo que podría causar accidentes lamentables que pudieran retrasar notablemente la obra y afectar los rendimientos. Ahora bien, en terraplén es de vital importancia sellar la capa superficial si existiese la sospecha de que viene una precipitación, de no tomar esta precaución, la lluvia puede saturar la capa superior, dañando el trabajo y obligan a sustituirla por otra capa.

En ciertos casos donde el área a rellenar es amplia, si es posible, por precaución se debe tomar una fracción de ella para realizar el trabajo de relleno y compactación, es decir, fraccionar el área completa de relleno en partes, que sean lo suficientemente cómodas de trabajar pero a su vez lo menos extensas, esto por si el control de calidad de esa fracción no resulta el requerido y se deba remover la capa no se pierda tanto tiempo hacerlo ni material de relleno a fin de no afectar los rendimientos estimados.

Los espesores de las capas del terraplén dependerán, en principio, del tipo de suelo y de la maquinaria disponible. Se busca que los espesores sean tales que contribuyan de

manera positiva con los rendimientos estimados. Las capas deben ser de un grosor tal que cumpla al menos con las siguientes condiciones

- a) El espesor debe ser suficiente para garantizar un buen rendimiento
- b) La energía de compactación aplicada por los equipos debe alcanzar todo el espesor de la capa.
- c) La humedad de compactación óptima debe alcanzarse en todos o la mayoría de los puntos tomados en la capa

El ingeniero encargado debe estar siempre en sitio y al corriente de lo que suceda en la obra, ya que es este el más capacitado y el responsable para tomar decisiones preventivas o correctivas de problemas que se puedan suscitar. A fin de mantener un control más preciso y un mejor seguimiento del trabajo, es recomendable llevar un libro de obra, el cual puede además servir como respaldo del fiel cumplimiento de las especificaciones, igualmente se sugiere tener una memoria fotográfica que muestre la secuencia y los casos más relevantes que se hayan suscitado, es importante destacar que para un mejor respaldo, al final de cada jornada, el libro de obra debe ser firmado al menos por el ingeniero inspector y el residente de la obra

A medida que se va avanzando en la ejecución, las condiciones de transporte se van modificando, por lo que siempre es importante verificar la operatividad y el estado de las rutas existentes en el circuito de maquinarias, de manera de no afectar los rendimientos finales, estas se pueden optimizar construyendo otras rutas o realizando mantenimiento a las ya existentes, para ajustarse a los requerimientos y para evitar la afectación de los rendimientos finales.

En ciertos casos es inevitable trabajar con suelos de un alto contenido de peñones o material vegetal, por lo que es recomendable apartarlos del terraplén madre, debido a que estos probablemente signifiquen puntos críticos en la densidad del terraplén, comprometiendo la calidad del trabajo que se está realizando.

Es importante tener un estricto seguimiento con ciertas características del suelo, como la expansión (esponjamiento) y contracción del mismo, ya que un descuido en la estimación de estos parámetros podría afectar notablemente los rendimientos estimados.

Es necesario controlar de cerca la humedad de compactación y trabajar siempre con suelos plásticos, por lo que se sugiere, al evaluar la densidad de un material, trabajar con altos porcentajes del Proctor estándar (entre 95% y 98%) en vez de usar como referencia el Proctor Modificado, esto se debe a que el concepto que usa el método Modificado es el de un suelo menos húmedo o de poca humedad, esto implica que esta ávido de agua por lo que pierde la plasticidad y se corre el riesgo de fractura por ser un suelo rígido. Es en el caso de terraplenes viales donde se permite que solo las últimas capas puedan ser rígidas ya que sobre estas es que va la capa de rodamiento, la cual necesita de una buena fundación.

4.2.6. Aplicación de los controles de obra

Es importante hacer los controles de obra o pruebas de calidad de una manera equilibrada, cumpliendo con las normas pertinentes pero sin afectar con los rendimientos estimados.

Para garantizar la continuidad de la obra y el cumplimiento de los rendimientos estimados en la oferta, se debe verificar que los controles de compactación se ejecuten usando métodos estadísticos y no métodos determinísticos, como se realiza normalmente. El método determinístico puede ser perjudicial para el contratante, debido a que este puede no ser representativo de la calidad del trabajo realizado, dado que pasa por alto una innumerable cantidad de factores que pueden afectar la calidad de puntos de estudio en específico, tales como: presencia de peñones dentro del terraplén, mediciones en los bordes de los taludes y en sitios donde la distribución de la humedad no haya sido homogénea.

Al igual que los controles de calidad de compactación, en la obra, también es de suma importancia el control topográfico, de manera tal, que se mantenga un registro lo más preciso posible del avance de la misma. Este control es el primer indicador del estado

de los rendimientos, con un buen manejo de la topografía se pueden corregir defectos en la ejecución que de continuar, afectarían la calidad del trabajo y el tiempo de ejecución.

La frecuencia de realización de las pruebas también es un factor importante en el cumplimiento de los rendimientos, sin dejar de lado la calidad del trabajo, esta debe estar acorde con los planes de trabajo, debe existir una asistencia permanente en obra por parte de los técnicos encargados de realizar las pruebas de calidad.

Al realizar un control de compactación usando como herramienta el densímetro nuclear, se debe tener presente que es la capa inmediatamente inferior a la superficial la que se evalúa. Esto se puede demostrar observando la operación de los equipos de compactación. En general, cuando se descarga y extiende el material, la capa tiene un espesor aproximado de unos 30 ó 25 cm, cuando es compactado este puede reducirse a 20 ó 18 cm aproximadamente, ahora bien, si una pata de cabra (equipo común de compactación) penetra unos 15 cm al realizar el trabajo, entonces el espesor libre que mediría el densímetro sería de unos 5 cm lo que es algo absurdo y demuestra que la capa que se compacta realmente es la inmediatamente inferior a la que se está trabajando.

Debe verificarse que los controles de calidad de compactación se apliquen siguiendo el método de números casuales, esto para garantizar la imparcialidad en la elección de los puntos de control, de no seguir este método, es importante que el ingeniero tenga presente que los puntos críticos en cuanto a densidad y humedad de trabajo se refiere son bordes de los taludes, en los lugares de estacionamiento de las cisternas de agua y en sitios donde se presume la presencia de peñones dentro del terraplén, en cualquier caso debe procurarse que el sensor del densímetro alcance una profundidad de 8 pulgadas (20 centímetros).

En obra, muchas veces por más que se haya hecho un buen trabajo de compactación, el control de calidad puede no arrojar resultados positivos, esto puede deberse a cambios en el tipo de suelo o variaciones en las características del mismo, para ajustarse a estos cambios es necesario recalibrar el densímetro. La solución más fácil y práctica para verificar la existencia de un error de calibración, es medir con el densímetro

nuclear la densidad natural en el corte, esta debe ser muy similar a la que refleja el estudio de suelo previo que sirvió para calibrar el aparato, si al comparar ambos valores llegase a existir una diferencia bastante apreciable, significaría que el densímetro no está calibrado y arrojará mediciones erróneas.

Es necesario llevar un registro de todos los controles, bien sea de calidad de compactación o de topografía, por lo que se debe solicitar una copia de cada uno de estos estudios en cada aplicación de los mismos, sellada y firmada.

4.2.7. Culminación de los trabajos

Una vez que se haya alcanzado el volumen o la cota contratada, se pueden retirar los equipos de corte, transporte, empuje y compactación pesada del circuito y dejar solo máquinas de trabajo más superficial como el vibro y el patrón (motoniveladora) que den una buena terminación a la última capa, es decir, dar una mejor apariencia final al trabajo

A continuación se presentará la ejecución del ejemplo citado anteriormente, con la finalidad de mostrar algunas condiciones planteadas en esta etapa de una obra de movimiento de tierra.

Una vez ganada la licitación, la empresa DURCO S.A. procede a ejecutar la obra:

“Curiosamente la primera sorpresa para el ente contratante fue al firmar el Acta de Inicio y notificar que se estaba listo para iniciar la obra sin tener los explosivos en sitio. Se iniciaron las labores de excavación con escarificadores y al llevar el material al piedraplén y ser sometido a la compactación el material se fragmentaba con cada pase y se convertía en un terraplén y no un piedraplén, con lo cual no se cumplían las especificaciones. Posteriormente, se ordenó paralizar los trabajos mientras se consultaban los pasos a seguir. La primera orden fue someter el material a un tamizado para quitarle el material franco arenoso y colocar el “rocoso” en el piedraplén. Se les advirtió que el material grueso al ser llevado al piedraplén igualmente se convertiría en franco arenoso y no tendrían piedraplén, lo cual sucedió.

El siguiente paso era excavar, cargar y botar todo el material fuera de la obra y traer roca fragmentada para realizar los piedraplenes. Esto se les informó sería casi imposible por ser 250.000 M3 saliendo y 250.000 M3 entrando, pasando por el Valle Arriba y las Mercedes, hecho que los vecinos no iban a permitir.

Por último se decidió ejecutar terraplenes reforzados con geotextiles para con el uso de estos incrementar los factores de seguridad y aumentarlos a valores equivalentes a los piedraplenes.

La obra prácticamente se convirtió en una ejecución bajo la figura de equipos en alquiler, por lo ridículo de los rendimientos que se podían lograr y mientras se definían las nuevas especificaciones la empresa estuvo facturando “Lucro Cesante”.

4.3. OBTENCIÓN DEL ACTA DE RECEPCIÓN

“Cumplir con todos los controles de calidad garantiza al ingeniero, el buen comportamiento de la obra cuando esta esté terminada, a su vez, entregar todas las aceptaciones de los controles de calidad y avance, anexo al acta de culminación, sirve como comprobación y seguridad legal en caso de algún desperfecto que pueda ocurrir al tiempo de concluidos los trabajos”

4.3.1. Culminación de la etapa de ejecución

El día de culminación de los trabajos de campo, es necesario verificar por medio de controles topográficos haber arribado a la cota contratada o en su defecto haber cumplido con el volumen estipulado en el contrato, de ser así se puede proceder a retirar los equipos pesados que integran el circuito.

Además de verificar las cotas y los volúmenes, por la buena integridad de la obra, también debe verificarse la inclinación de los taludes de relleno, lo cual es trabajo del topógrafo, si por alguna razón estos no cumplen con los ángulos requeridos.

Una vez verificado el cumplimiento de todos los requerimientos del contrato (Cota o Volumen proyectado, aprobación de la calidad de la última capa por parte del laboratorio y

verificación del ángulo de inclinación de los taludes), se procede a elaborar el acta de terminación de la obra. Se solicita una copia de la prueba de calidad aceptada, sellada y firmada, la cual se deberá adjuntar a todos los estudios realizados anteriormente para ser archivados como respaldo de la calidad de la obra y la carta de conformidad por parte de la inspección del ente contratante.

4.3.2. Obtención del acta de recepción provisional y definitiva

Una vez culminada la ejecución, comienza un lapso donde se demuestra que el trabajo fue realizado siguiendo todas y cada una de las especificaciones de cantidad y de calidad, durante este tiempo se recopilan todos los documentos relacionados con estudios y resultado de los controles de calidad (resultados que arrojó el densímetro nuclear en cada uno de los puntos que se estudiaron), resultados de los controles de topografía y además de estos, se sugiere anexar copia de la memoria fotográfica y el libro de obra que sirvan como respaldo por parte del ejecutante. Luego de todas las comprobaciones pertinentes, el contratante debe entregar el acta de recepción provisional de la obra.

A partir de la entrega del acta de recepción provisional comienza a correr un lapso denominado periodo de garantía, este puede ser de 6 a 12 meses y es donde se comprueba la no existencia de vicios ocultos, una vez cumplido el tiempo estipulado, el contratante entrega el acta de recepción definitiva de la obra.

Es de suma importancia destacar que al entregarse el acta de recepción de la obra se desvincula al ejecutor de todo vicio oculto, mas no de la responsabilidad decenal al ingeniero encargado, lo que demuestra la extrema atención que se debe prestar en todo momento de la ejecución.

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Al generar la oferta, los planos de topografía (original y modificada) permiten el cálculo de las cantidades de obra, el planteamiento de los circuitos y estimar de manera aproximada el grado de dificultad de las excavaciones, de igual manera, en la ejecución los controles topográficos miden el avance de la obra, a la vez que verifican las inclinaciones de los taludes de corte o relleno. Por esto, es necesario interpretar correctamente la información que brinda la topografía.

En el terraplén las características del suelo proporcionadas por los estudios geotécnicos, definen el grado de compactación que puede lograr un material y la cantidad de agua necesaria para densificarlo y permitiendo escoger los métodos más convenientes, con la finalidad de obtener mejores rendimientos.

Una obra de movimiento de tierra eficiente, se fundamenta esencialmente en una buena estimación de los rendimientos en la oferta y una correcta ejecución que permita cumplir o mejorar estos rendimientos.

Guardar un respaldo de todos los controles de obra realizados, llevar un libro de obra y tener una memoria fotográfica que muestre las incidencias, garantiza la calidad del trabajo realizado ante cualquier circunstancia.

Factores ajenos al suelo como el clima y la ubicación (llanura, montaña, pie de monte o valles), tienen una influencia notoria en las características propias del suelo presente en la obra, siendo la humedad natural la más propensa a variaciones.

Una revisión detallada de las especificaciones establecidas, de los estudios (Topográficos, geológicos y de suelos) que sustentan la oferta, además de la correcta aplicación e interpretación de los controles de obra, permiten una correcta toma de decisiones, que se traducen en el cumplimiento de los rendimientos estimados.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La aplicación inadecuada de los controles de obra (topográficos, de densidad y humedad de compactación) durante la ejecución pueden afectar los rendimientos, ya que errores en la calibración del densímetro, en la escogencia del sitio de prueba o al realizar las mediciones topográficas producirán resultados que no se corresponden con la calidad del trabajo produciendo retrasos en los tiempos de ejecución.

La visita al sitio de obra, previa a la realización de la oferta, permite verificar la información suministrada por los estudios geológicos y geotécnicos, así como la validez de la topografía, evitando una mala definición de la obra a ejecutar, errores en el cálculo de las cantidades de obras o la subestimación de la dificultad de los trabajos. De igual forma, previo al comienzo de la ejecución debe realizarse esta visita, a fin de verificar la validez de los planes de trabajos formulados con anterioridad, así como la posible detección de obras adicionales, por ejemplo: Reparaciones de las vías de acceso.

“El principal objetivo del ingeniero en una obra de movimiento de tierra, es utilizar solo los recursos necesarios para completar el trabajo, sin afectar los rendimientos estimados y sobre todo respaldar la calidad de la obra”. Ing. Rafael Madrigal

5.2. RECOMENDACIONES

Por el hecho de que este trabajo especial de grado solo estuvo enfocado en la variable suelo y todos aquellos factores que pudiesen afectarlo en el marco de una obra de movimientos de tierra, se recomienda expandir la investigación adicionando la influencia de otros factores que pudieran ser determinantes en este tipo de obras, a fin de seguir recopilando ese conocimiento empírico, con la finalidad de facilitar la llegada a obra de los ingenieros con poca experiencia en el contexto de un movimiento de tierra.

Dado la generalidad con que se abordó la influencia de los factores mencionados sobre los rendimientos, se recomienda la elaboración de estudios detallados del grado de afectación que pudiese ocasionar a la obra el descuido puntual de alguno de estos aspectos.

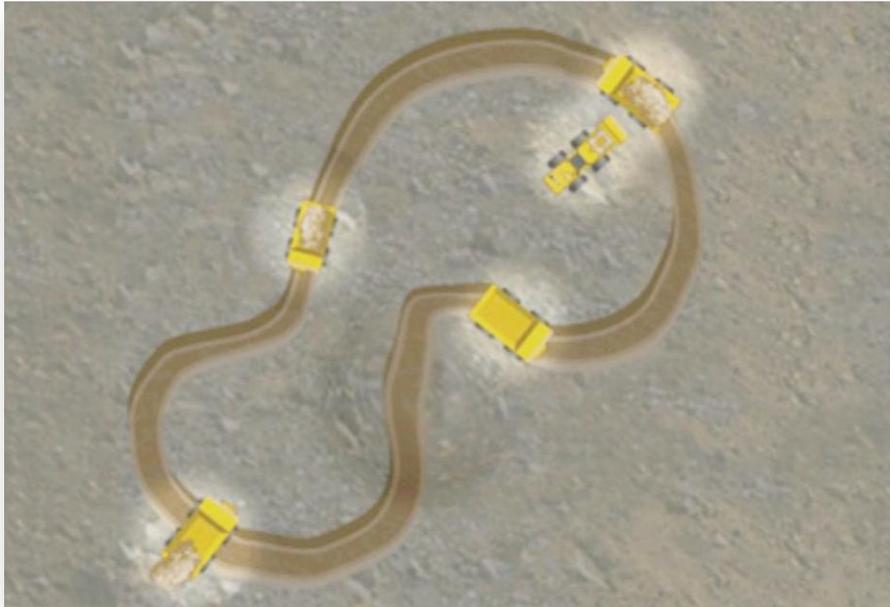
De igual manera, se recomienda desarrollar una investigación de la influencia específica que tienen los suelos de tratamiento especial (suelos expansivos y dispersivos) en una obra de movimientos de tierra, debido a que estos son frecuentes en el territorio venezolano.

REFERENCIAS BILIOGRAFICAS

- Bibliográficas
 - ✓ RICO R, Alfonzo y DEL CASTILLO, Hermilio. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres (Volumen 1). Editorial Limusa. (2010).
 - ✓ LAMBE, William y WHITMAN, Robert. Mecánica de Suelos. por. Editorial Limusa. (2009).
 - ✓ CORREDOR, Gustavo. Apuntes de Pavimentos (Volumen 3). UCAB y USM. (2010)
 - ✓ Naval Facilities Engineering Command, “*Foundations & Earth Structures, DESIGN MANUAL 7.02*”. Alexandria, Virginia. (1986).

- Digitales (Referencias de Internet)
 - ✓ <http://www.sencamer.gob.ve/sencamer/action/normas-find>

- Documentos no Publicados
 - ✓ Madrigal Quevedo, E. “*GERENCIA DE OBRAS DE MOVIMIENTO DE TIERRA*”. Trabajo de ascenso no publicado Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. (sf).



Anexo 1. **Circuito de Maquinarias** ("Fuente CivilGeeks")



Anexo 2. **Excavadora Realizando un Corte** ("Fuente: Google-Imágenes-
Movimiento de Tierra")



Anexo 3. **Escarificación** ("Fuente: Google-Imágenes - Movimiento de Tierra-Escarificación")



Anexo 4. **Carga del Material en los Equipos de Transporte** ("Fuente: Google-Imágenes-Movimientos de Tierra")



Anexo 5. **Disposición del Material en el Terraplén** ("Fuente: Google-
Imágenes-Movimientos de Tierra")



Anexo 6. **Extensión del Material en Terraplén** ("Fuente: Google-
Imágenes-Movimiento de Tierra")



Anexo 7. **Proceso de Compactación con uso de Pata de Cabra** (Obra "Preparación de sitio, proyecto planta de extracción profunda soto")



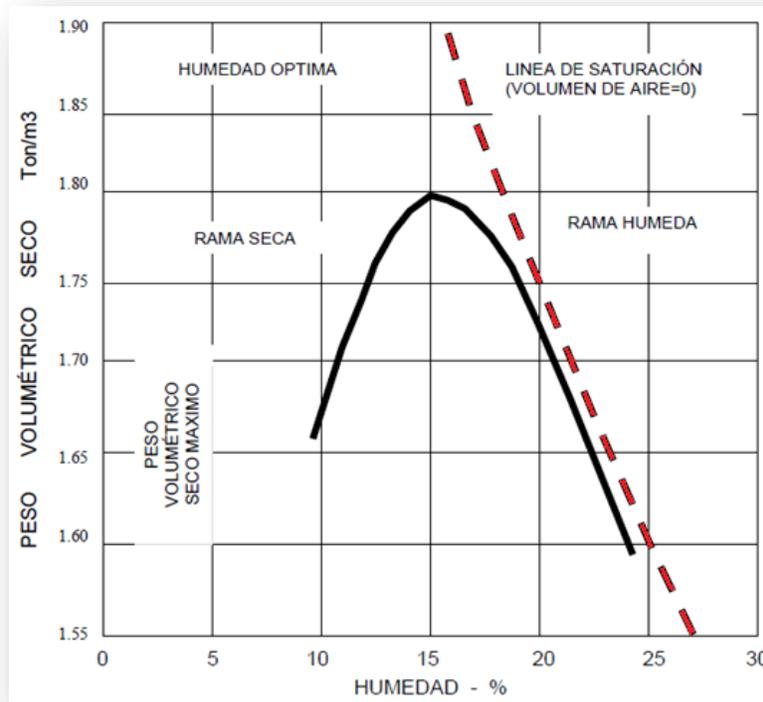
Anexo 8. **Prueba de Compactación con Densímetro Nuclear** (Obra "Movimiento de Tierra para la Zona Industrial de Ciudad Caribia ")



Anexo 9. **Relleno Compactado** (Obra " Preparación de sitio, proyecto planta de extracción profunda soto")



Anexo 10. **Nivelación de la Terraza Terminada** (Obra "Movimiento de Tierra para la Zona Industrial de Ciudad Caribia")



Anexo 11. Curva de Compactación ("Fuente: CivilGeeks")



Anexo 12. Maquinaria Común de Compactación Pesada (Obra " Preparación de sitio, proyecto planta de extracción profunda soto")

Anexos Extraídos de “Apuntes de Pavimentos (Volumen 3)”, del Ing. Gustavo Corredor

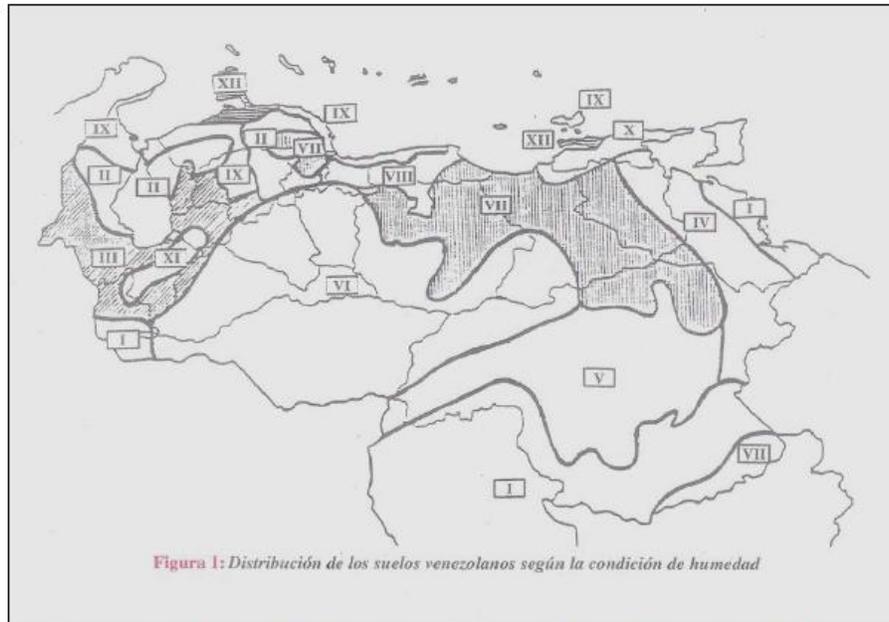


Figura 2: Distribución de los suelos venezolanos según la condición de humedad
Ref: Jugo, Augusto: Validación del Método AASHTO-93 para Venezuela

ZONA CLIMÁTICA	MESES DE CONDICIÓN		
	SECA	HÚMEDA	SATURADO
I	2	2	8
II	6	4	2
III	3	3	6
IV	4	4	4
V	6	2	4
VI	5,5	3	3,5
VII	6	3	3
VIII	7	3	2
IX	10	1,5	0,5
X	7	4	1
XI	5	5	2
XII	12	0	0

Tabla 1: Zonas climáticas de Venezuela y número de meses en que los suelos de fundación permanecen en condiciones secas, húmedas y saturados

Tabla 1: Zonas climáticas de Venezuela y números de meses del suelo en condiciones de saturación, humedad cercana a la óptima y seca.
Fuente: Ing. Augusto Jugo B. (PhD).