

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**SUPERVISIÓN DE OBRAS DE TERRACERÍA EN
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

PRESENTADO POR:

MIGUEL ANGEL GUARDADO SOSA

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2019.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL :

MSC. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR :

ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**SUPERVISIÓN DE OBRAS DE TERRACERÍA EN
PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.**

Presentado por:

MIGUEL ANGEL GUARDADO SOSA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. JOSÉ RANULFO CÁRCAMO Y CÁRCAMO

SAN SALVADOR, ABRIL DE 2019.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. JOSÉ RANULFO CÁRCAMO Y CÁRCAMO

AGRADECIMIENTOS

A mis padres: Esteban Sosa y Lidia Guardado; gracias a todo lo que me brindaron he podido alcanzar mis metas.

A mis hermanos: me otorgaron su ayuda cuando lo necesité.

A mis amigos: conté con su apoyo cuando lo solicité.

A mis maestros: por transmitirme sus valiosos conocimientos.

A mi asesor: Ing. José Ranulfo Cárcamo, por colaborar conmigo en este importante trabajo de graduación.

A mi querida Universidad de El Salvador: por concederme la oportunidad de estudiar tan grandiosa carrera, ingeniería civil.

RESUMEN

Realizar correctamente las obras de terracería en los proyectos de construcción es trascendental, ya que de ello depende que la estructura construida funcione según lo previsto en el diseño.

Con la finalidad de que el supervisor tenga claro el procedimiento que se debe ejecutar, se realizó el presente trabajo de investigación; procurando incluir en él todos los elementos que constituyen la labor de supervisar una obra de terracería, así como las etapas en que esta se divide.

Esencialmente, la función del supervisor es verificar que el proyecto se ejecute de acuerdo a las especificaciones contractuales y técnicas, optimizando cada actividad para obtener los resultados más favorables respecto a la calidad, el tiempo y el costo.

Las obras de terracería constan de etapas claramente definidas, y en cada una de ellas se debe utilizar la maquinaria idónea y los ensayos de laboratorio correspondientes; para conocer detalladamente el tipo de material con el que se ha de trabajar. Una obra de terracería se complementa de forma ideal construyendo elementos de drenaje, que ayuden a evitar daños producidos por el agua, en las estructuras construidas.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	xii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3 OBJETIVOS.	5
1.4 ALCANCES.	6
1.5 LIMITACIONES.	7
1.6 JUSTIFICACIONES.....	8
CAPÍTULO II.....	9
LA SUPERVISIÓN.....	9
2.1 LA SUPERVISIÓN.....	10
2.2 ALCANCE DE LA AUTORIDAD DE LA SUPERVISION.....	11
2.3 FUNCIONES GENERALES DE LA SUPERVISION.....	12
2.4 MEDIOS PARA LA COMUNICACIÓN DE LA SUPERVISION.	14
2.5 ACTIVIDADES DE LA SUPERVISION PREVIAS A LA EJECUCIÓN DE LA OBRA.....	18
2.5.1 INICIACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LA SUPERVISION.	18

2.6 ACTIVIDADES DE LA SUPERVISION AL INICIO DE LA OBRA.	19
2.6.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.	19
2.7 ACTIVIDADES DE LA SUPERVISION DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA.	20
2.7.1 APERTURA DE BITÁCORAS.....	20
2.7.2 METODOLOGÍA.	22
2.7.3 CONTROL DE LOS RECURSOS HUMANOS, MATERIALES Y EQUIPO.....	27
2.7.4 CONTROL DE PROGRAMAS.	28
2.7.5 CONTROL DE ESTIMACIONES.	32
2.8 ACTIVIDADES DE LA SUPERVISION EN LA FINALIZACIÓN Y ENTREGA DE LA OBRA.....	34
2.8.1 VERIFICAR CON EL CLIENTE QUE LA OBRA HA QUEDADO TERMINADA.....	34
2.8.2 ATENDER LAS INCONFORMIDADES DE LOS CONTRATISTAS. ...	35
2.8.3 FIJAR FECHAS REALES DE RECEPCIÓN.	35
2.8.4 FINIQUITO DE LOS SERVICIOS DE LA SUPERVISION.....	35
CAPÍTULO III.....	37
TERRACERÍA	37
3.1 ETAPAS DE UN PROYECTO DE TERRACERIA.	41
3.1.1 DISEÑO DE UN PROYECTO.....	41

3.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.....	43
3.1.3 MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN.....	45
3.2 PRELIMINARES.....	46
3.2.1 TRAZO.....	46
3.2.2 DESMONTE Y DESPALME.....	54
3.3 MAQUINARIA.....	61
3.3.1 MOTOESCREPAS.....	61
3.3.2 MOTOCONFORMADORAS O MOTONIVELADORAS.....	64
3.3.3 EXCAVADORAS.....	65
3.3.4 CARGADOR FRONTAL.....	67
3.3.5 RETROEXCAVADORAS.....	67
3.3.6 COMPACTADORES.....	69
3.3.7 TRACTORES DE ORUGA (BULLDOZER).....	72
3.3.8 EQUIPOS DE TERRACERÍA PEQUEÑOS.....	73
3.3.9 CAMIONES.....	75
3.4 TERRAPLENES.....	78
3.4.1 EQUIPO.....	82
3.4.2 TRABAJOS PREVIOS.....	82
3.4.3 EXTRACCIÓN DE MATERIALES.....	83
3.4.4 CALIDAD DE LOS MATERIALES.....	87
3.4.5 TENDIDO Y CONFORMACION.....	89

3.4.6 COMPACTACIÓN.....	92
3.5 CORTES.....	96
3.5.1 EQUIPO.....	97
3.5.2 CORTES EN ROCA FIRME.....	99
3.5.3 CORTES EN ROCA SUELTA.....	103
3.5.4 CORTES EN SUELOS BLANDOS.....	104
3.5.5 CAPA SUBRASANTE EN CORTES.....	106
3.6 ESTABILIZACIÓN DE TALUDES.....	107
3.6.1 RECUBRIMIENTO DE TALUDES.....	107
3.6.2 BERMAS.....	111
3.6.3 CONCRETO LANZADO.....	112
3.6.4 MUROS DE CONTENCIÓN.....	113
3.6.5 OTROS CASOS.....	115
3.7 TÚNELES.....	116
3.8 OBRAS DE DRENAJE.....	120
3.8.1 DRENAJE SUPERFICIAL.....	121
3.8.2 DRENAJE SUBTERRÁNEO.....	132
CAPÍTULO IV.....	133
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	133
4.1 CONCLUSIONES.....	134
4.2 RECOMENDACIONES.....	137

APENDICE	139
ENSAYO DE DENSIDAD- MÉTODO, CONO Y ARENA.	139
ENSAYO DE DENSIDAD- MÉTODO, DENSÍMETRO NUCLEAR.	146
GLOSARIO DE TÉRMINOS	156
BIBLIOGRAFÍA	161

INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Esquematización de los elementos que constituyen la sección transversal de una carretera.....	40
Imagen 2: Inicio de los trabajos de terracería.	44
Imagen 3: Trabajo de conservación de terracería. Renivelación y tendido de suelo, en un proyecto de edificación.	45
Imagen 4: Elementos de Trazo y Nivelación, al inicio de una construcción.	47
Imagen 5: vista de los elementos que se deben identificar al trazar una calle o carretera.	49
Imagen 6: Cinta métrica para medir largas distancias.	50
Imagen 7: Teodolito, usado para levantamientos topográficos.	51
Imagen 8: Nivel óptico con trípode y estadia.	52
Imagen 9: Estación total y prisma, es el aparato de medición topográfica usual.	53
Imagen 10: GPS, sistema de posicionamiento global. Aparato que determina las coordenadas de un punto sobre la superficie de la tierra.	54
Imagen 11: Pala excavadora cortando árboles.	56
Imagen 12: Tractor realizando tala y roza simultáneamente.	57
Imagen 13: Tractor realizando el proceso de roza.	58
Imagen 14: Acarreo de material, producto del desmonte, para su disposición final.	59
Imagen 15: Terreno en que se ha concluido el proceso de terracería.	60

Imagen 16: Motoescrepa autocargable.....	62
Imagen 17: Motoescrepa estándar	63
Imagen 18: Motoescrepa de tiro y empuje.....	64
Imagen 19: Motoniveladora, usada para llevar la superficie del terreno al nivel deseado.....	65
Imagen 20: Excavadora de tamaño mediano.	66
Imagen 21: Cargador frontal, utilizado para trabajos que requieren mucha fuerza.	67
Imagen 22: Retroexcavadora, máquina versátil para diferentes actividades en obra.	68
Imagen 23: Compactador tipo “pata de cabra”.....	70
Imagen 24: Compactador monocilíndrico vibratorio.....	71
Imagen 25: Compactador bicilíndrico vibratorio.....	71
Imagen 26: Tractor de oruga.	72
Imagen 27: Minicargador, máquina versátil y práctica.	74
Imagen 29: Minicompactador, de 1 a 1.5 ton.....	75
Imagen 28: “Bailarina”.....	75
Imagen 30: Camión de volteo articulado.....	76
Imagen 31: Camión de volteo rabón.....	76
Imagen 32: Camión de volteo torton, de gran capacidad.....	77
Imagen 33: Góndola.	77
Imagen 34: Capas de un terraplén.....	79

Imagen 35: Nivelación de un terraplén.	79
Imagen 36: Formación de terraplén con material compactable.	80
Imagen 37: Formación de terraplén con material no compactable.	80
Imagen 38: Compactación del terreno natural que queda después del despalme.	83
Imagen 39: Carga y acarreo de material de préstamo.	84
Imagen 40: Banco de préstamo, excavación y carga.	85
Imagen 41: Material transportado desde un banco de préstamo cercano.	86
Imagen 42: Corte y formación de terraplén.	87
Imagen 43: Formación de terraplén.	89
Imagen 44: Tractor sobre orugas, tendiendo material para la conformación del cuerpo del terraplén.	90
Imagen 45: Motoescrepa, nivelando la capa de suelo.	90
Imagen 46: Conformación de la capa subrasante, con motoniveladora.	91
Imagen 47: Compactación del cuerpo del terraplén con rodo pata de cabra.	94
Imagen 48: Formación de la capa subyacente.	94
Imagen 49: Compactación de la capa subrasante.	95
Imagen 50: Vista de un corte, donde se pueden observar los taludes y la superficie subrasante.	96
Imagen 51: Barrenación, para la colocación de explosivos.	100
Imagen 52: Colocación de explosivos en las perforaciones.	101
Imagen 53: Voladura con explosivos.	101

Imagen 54: Extracción del material de corte, después de la voladura.	102
Imagen 55: Realización de excavación en roca suelta.	103
Imagen 56: Acarreo de material, producto del corte en roca suelta.	104
Imagen 57: Formación de corte, utilizando excavadora.	105
Imagen 58: Formación de corte, utilizando bulldozers.	105
Imagen 59: Tendido de capa subrasante en corte.	106
Imagen 60: Protección de talud utilizando césped.	108
Imagen 61: Malla vegetal.	108
Imagen 62: Malla geosintética.	109
Imagen 63: Protección de talud con malla metálica.	109
Imagen 64: riego asfáltico para protección de taludes.	110
Imagen 65: Zampeado para protección de taludes.	110
Imagen 66: Arrope de taludes con material producto del despalme.	111
Imagen 67: Talud estabilizado con bermas.	112
Imagen 68: Aplicación de concreto lanzado.	113
Imagen 69: Muro de gaviones.	114
Imagen 70: Muro de concreto reforzado.	114
Imagen 71: Vista de armado en estructura, a base de tierra armada.	116
Imagen 72: Máquina barrenadora, colocación de explosivos en túneles.	117
Imagen 73: Máquina excavadora de túneles.	118
Imagen 74: Máquina tuneladora (sección interna).	119
Imagen 75: Construcción de cuneta.	122

Imagen 76: Contracunetas sucesivas, construidas en talud de corte.	123
Imagen 77: Canal de encauzamiento, construido en la base de un talud.	124
Imagen 78: Cortes transversales donde se aprecian las pendientes típicas del bombeo.	125
Imagen 79: Perfil de alcantarilla tubular.	126
Imagen 80: Rellenos de excavación, donde se colocan los tubos.	127
Imagen 81: Colocación de tubo en obra de drenaje.	128
Imagen 82: Aspecto general de la colocación de cimbra en la estructura de la bóveda.	129
Imagen 83: Armado del acero de refuerzo en la losa.	130
Imagen 84: Puente sobre vigas.	131
Imagen 85: Puente atirantado.	131
Imagen 86: Muestra del agujero resultante después de la excavación.	142
Imagen 87: después de vaciar la arena y cerrar la válvula.	142
Imagen 88: toma del peso húmedo y seco de la muestra extraída en la excavación.	143
Imagen 89: Determinación de la densidad por retro-dispersión.	149
Imagen 90: Determinación de la densidad por medio de transmisión directa.	151
Imagen 91: Determinación de la densidad mediante colchón de aire.	152
Imagen 92: Determinación de la humedad del suelo.	153
Imagen 93: Densímetro nuclear estándar.	154

INTRODUCCIÓN.

Cuando se inicia un proyecto de terracería siempre se necesita de un profesional que vigile el proceso constructivo de modo que se pueda asegurar que el trabajo se ha realizado de manera adecuada; es por ello que se requiere la participación de un supervisor. Dado que el supervisor debe conocer bien todo lo relativo a los trabajos de terracería, es de suma importancia contar con una guía confiable que presente los elementos necesarios para realizar la supervisión apropiadamente. Con ese fin se elaboró el presente trabajo de graduación.

El objetivo principal es lograr un trabajo de graduación que reúna los requisitos necesarios para ser una guía eficaz para cualquier estudiante de ingeniería civil o ingeniero civil, al que se le adjudique la supervisión de una obra de terracería. Se han considerado detalladamente los elementos principales que corresponden a esta área tan importante de la ingeniería civil, para lograr la eficiencia requerida en cada proyecto.

Se presentan inicialmente los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos, los alcances, las limitaciones y justificación de la investigación; que reflejan la necesidad de contar con un documento de consulta profesional en el cual se puedan esclarecer las dudas que surgen en el campo laboral.

A continuación se describen los conceptos principales concernientes a la supervisión, poniendo en evidencia su importancia y la necesidad de contar con ella en cada proyecto.

Luego se detallan las funciones que debe desempeñar todo supervisor antes, durante y después de un proyecto que le haya sido asignado, logrando con ello la máxima eficiencia posible.

Para finalizar se exponen los conceptos correspondientes a los trabajos de terracería, el orden de las etapas en que esta se divide y la maquinaria más apropiada utilizada en cada una de estas etapas, logrando con ello la comprensión y claridad del proceso que se sigue en esta área tan importante; que en todo proyecto es el inicio del trabajo en campo.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES.

Con frecuencia nos encontramos con el hecho de que un ingeniero civil recién graduado, al ser contratado para la supervisión de un proyecto en particular, no cuenta con una guía que le indique cómo realizar su trabajo. Hablando específicamente de la supervisión de obras de terracería, no se cuenta con un documento que indique cuáles son las responsabilidades de un supervisor y cuáles son los requerimientos que este debe solicitar a los responsables del proyecto que le ha sido asignado.

A causa de la demanda habitacional y comercial, en constante crecimiento, del área urbana de El Salvador, las edificaciones son cada vez más altas; debido a lo cual el cuidado que se debe tener en la ejecución de la compactación de suelos crece proporcionalmente.

Se hace necesario elaborar un documento de consulta confiable, que sirva de guía al estudiante de ingeniería civil y a los ingenieros civiles; con el fin de puntualizar las acciones de control que se deben llevar a cabo, antes, durante y en la finalización de un proceso constructivo. Indudablemente el ingeniero encargado de la supervisión del proyecto debe tener claro el alcance, autoridad y limitaciones que corresponden a su cargo.

La necesidad de contratar un ingeniero supervisor para un proyecto de construcción se debe a razones como:

- a) El propietario se ve en la necesidad de contratar a un técnico que ejecute la supervisión por él, garantizándole la calidad de la obra.
- b) Cuando el cliente no cuenta con el tiempo para supervisar sus obras, delega esta responsabilidad.
- c) Algunos proyectos exigen que la persona que supervisa, sea un especialista.

El cliente pretende responsabilizar a una empresa supervisora de la vigilancia de la obra, garantizando así su inversión y la obtención de las mejores condiciones de calidad, tiempo y costo.

La razón principal de la contratación es la confianza en la capacidad profesional y honestidad del supervisor; es por eso que, al contratar al supervisor, este adquiere adicionalmente la obligación moral de velar por su prestigio profesional y hacer un mejor desempeño de sus funciones para responder a esa confianza.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La supervisión de la obra de terracería es uno de los factores fundamentales en todo proyecto de construcción, razón por la cual es imprescindible prestarle la atención debida, de no hacerlo podrían producirse problemas relevantes durante el desarrollo del proyecto o algún tiempo después de finalizado.

El problema principal que enfrenta el ingeniero civil recién graduado es que se le asigne la supervisión de un proyecto de terracería sin tener una guía que le esclarezca las medidas a tomar durante la ejecución del mismo, para garantizar que la obra se ha realizado de forma correcta. Sólo en casos aislados se puede contar con algún ingeniero civil con experiencia que en algún momento brinde su asesoría, en la mayoría de los casos el supervisor principiante no sabe cómo realizar su trabajo. Desarrollar la habilidad sólo con la práctica requiere tiempo y en el proceso se cometen muchos errores de considerable magnitud.

Se vuelve indispensable elaborar un documento que plantee la forma adecuada de trazar un plan de trabajo que haga eficiente la supervisión, para lograr el más alto grado de calidad del proyecto asignado.

1.3 OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un documento de consulta confiable para la supervisión de obras de terracería en proyectos de construcción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un glosario de los conceptos utilizados en la supervisión de obras de terracería.
- Realizar un catálogo de la maquinaria y equipos utilizados en un proyecto de terracería.
- Determinar las diferentes etapas que corresponden a una obra de terracería.
- Conocer los ensayos que se deben realizar a los diferentes tipos de suelo a utilizar en el proyecto.
- Definir el papel del supervisor de una obra de terracería en un proyecto determinado.
- Determinar el proceso más eficiente a seguir en la ejecución de una obra de terracería.

1.4 ALCANCES.

1. Se conocerá las funciones del supervisor en un proyecto de construcción.
2. Se logrará generalizar la aplicación de la metodología de trabajo a cualquier obra de terracería, sin importar el tipo de proyecto de que se trate.
3. Se conseguirá la adquisición del conocimiento de los diferentes tipos de ensayos que se deben realizar a un tipo de suelo determinado antes de iniciar la obra y cuando ésta está en ejecución.
4. Se tendrá conocimiento de los diferentes equipos utilizados en una obra de terracería.
5. Se tendrá una idea clara y precisa de las etapas de un proyecto de terracería, y los alcances y limitaciones de un supervisor en dicho proyecto.

1.5 LIMITACIONES.

- Los datos obtenidos para la investigación se deben extraer directamente de la observación del trabajo en campo, lo cual podría elevar los costos de la misma, además el acceso a los proyectos es restringido por las autoridades responsables.
- Al no contar con el conocimiento de metodologías claramente definidas, se necesitaría suficiente tiempo para elaborar una, a partir de la optimización de los procesos investigados, lo que podría prolongar mucho tiempo la investigación.
- Al programar la investigación de campo acorde a la programación del proyecto modelo, se podría enfrentar el hecho de que en dicho proyecto haya retrasos en el inicio de la obra, lo cual también retrasaría la investigación.

1.6 JUSTIFICACIONES.

Con la intención de lograr un desempeño eficiente de la supervisión de obras de terracería, elaborar un documento de consulta confiable lograría evitar errores comunes como:

- Retrasar el proyecto por no saber qué hacer en un caso específico.
- Aprobar procesos de compactación inadecuados o equipos inapropiados para el tipo de suelo seleccionado.
- No saber que ensayos se deben realizar al suelo, antes y durante los procesos de compactación, tanto de suelo natural como de suelo-cemento.
- Desconocer en qué casos es recomendable usar suelo natural, suelo cemento y/o lodocreto.
- Ignorar cuales son las proporciones más usuales para la compactación en cimentaciones o en rellenos.
- Obtener, como resultado de una supervisión negligente, problemas de asentamiento considerables.

CAPÍTULO II
LA SUPERVISIÓN

2.1 LA SUPERVISIÓN.

“No cabe duda de que de nada serviría que un proyecto determinado fuera cuidadosamente elaborado, si por alguna circunstancia se descuidan los procedimientos de construcción del mismo. Todo proyecto que haya sido bien elaborado, merece y debe ser bien construido”. (Crespo Villalaz, 1979)

DEFINICIÓN: La Supervisión es la actividad de vigilar, coordinar y comprobar el cumplimiento, a tiempo, de las condiciones técnicas y económicas acordadas entre el Cliente y el Contratista.

La definición anterior es la base para afirmar que el objetivo principal de la supervisión es lograr que la obra sea efectuada en el tiempo establecido por el contrato, conforme a la calidad especificada y exigida por las NORMAS TÉCNICAS y según el costo calculado en el presupuesto inicial.

En resumen, los objetivos básicos de la supervisión son:

A) Control de Tiempo.

B) Control de las especificaciones contractuales y técnicas.

B.1) Control de Calidad.

B.2) Control de Costo.

2.2 ALCANCE DE LA AUTORIDAD DE LA SUPERVISION.

El Cliente será la única autoridad superior, durante y a la terminación de la obra. La Supervisión está facultada para dirigir la obra y tomar las decisiones correspondientes a sus funciones, las que serán acatadas por el Contratista. La Supervisión no tiene autoridad para celebrar convenio alguno, verbal o escrito, que modifique en cualquier forma los compromisos contractuales entre el Cliente y el Contratista.

La supervisión tiene facultad para:

- Someter a consideración y aprobación del Cliente los precios unitarios de conceptos de trabajo no incluidos en el contrato.
- Ordenar al Contratista la suspensión total de la obra, cuando a juicio de La Supervisión alguna parte de dicha obra se esté ejecutando fuera de las especificaciones o en forma que ponga en peligro la seguridad de la misma o de terceras personas; podrá ordenar la suspensión de sus trabajos en esa parte de la obra hasta que se corrija lo que motivó la suspensión. Si es la totalidad de la obra la que se suspenderá, La Supervisión deberá informar de inmediato al Cliente y este será el que ordenará al Contratista lo que debe hacer al respecto.
- Negociar con terceros, a nombre del Cliente, sobre indemnizaciones por afectaciones en sus bienes como resultado de la ejecución de la obra.

2.3 FUNCIONES GENERALES DE LA SUPERVISION.

La Supervisión debe representar y asesorar al cliente en todo lo relacionado con:

- Dirigir, vigilar y controlar el desarrollo de la obra en sus aspectos de calidad, costo y tiempo, apegado al proyecto aprobado por el Cliente al inicio, o a las modificaciones que surjan durante la ejecución de la obra; procurando el cumplimiento de los términos del contrato.
- Asesorar al Contratista en los aspectos técnicos y administrativos de la obra, de acuerdo a los lineamientos administrativos del Cliente.
- Llevar registro escrito y fotográfico de todo lo que acontece en la obra, durante su ejecución, así como a la terminación de la misma, de acuerdo con los lineamientos estipulados por el Cliente.
- Informar al Cliente sobre el desarrollo y ejecución de la obra.
- Notificar al Cliente y al Contratista sobre todo lo que se requiera para la buena ejecución de la obra.
- Cuantificar y evaluar la obra que se va ejecutando, así como la faltante, para efecto de pago oportuno al Contratista.
- Acudir al Cliente para conciliar diferencias con el Contratista.
- Proporcionar el contenido oportuno y completo de la Información que necesiten el Cliente y el Contratista.

- Las relaciones con el Contratista, que se ajusten dentro de un marco de ética profesional al cumplimiento de las responsabilidades.
- Que los equipos técnicos e instrumentos que se utilicen en la supervisión sean los adecuados para desempeñar los trabajos.
- Las Normas Técnicas que deben aplicarse durante la ejecución de la obra.
- La entrega de los planos de obra terminada, simultáneamente con la liquidación de la obra.
- El personal que utilice para cumplir sus funciones, tanto cuantitativa como cualitativamente, en las diferentes especialidades para garantizar la calidad de los servicios profesionales de supervisión.

El Cliente por su parte, podrá prescindir de cualquier personal de supervisión asignado a la obra, por así convenir a sus intereses. La plantilla del personal de supervisión de obra, se someterá a la aprobación del cliente.

El personal que utilice la Supervisión para llevar a cabo los servicios, deberán estar capacitados y conocer:

- La Organización general del Cliente.
- El Proyecto previamente aprobado de la obra y el objetivo que se persigue.
- Los programas de la obra.

- Las especificaciones generales y técnicas de construcción del Cliente.
- Del contrato que el Cliente celebre para la construcción de la obra.
- Los alcances de los precios unitarios del contrato y de los precios especiales que se autoricen.

2.4 MEDIOS PARA LA COMUNICACIÓN DE LA SUPERVISION.

El Cliente establecerá con La Supervisión los medios a través de los cuales se mantendrá la comunicación, que permita recoger y transmitir la información veraz, oportuna, objetiva y adecuada, para conocer en forma ordenada y periódica el estado en que se encuentren el desarrollo y ejecución de la obra.

Dichos medios de comunicación entre La Supervisión, el Cliente y el Contratista para todo asunto relacionado con la obra, se darán a conocer oportunamente.

Las comunicaciones entre la Supervisión y el Contratista siempre se deberán dirigir al representante en la obra, con copia al Cliente.

Para lograr que el Cliente este constantemente enterado del desarrollo y ejecución de la obra en sus diversos aspectos la Supervisión, a través de los canales autorizados, hará un informe de lo acontecido oportunamente. Estos informes serán los que ordinariamente elaborará y entregará al Cliente, y este podrá pedir otros informes o introducir modificaciones a los ya establecidos.

Los informes serán:

- De iniciación de la obra.
- Periódicos.

- Extraordinarios.
- Y de finalización de la obra.

La Supervisión al inicio de los trabajos de la obra, entregará al Cliente un informe que contenga:

- Nombre y descripción de la obra.
- Nombre del contratista.
- Monto y plazo de ejecución del contrato.
- Fecha real de inicio de obra (todo conforme a los formatos propios del Cliente).

La Supervisión presentará al Cliente los informes de obra periódicos (suelen ser mensuales), en los que se recopile toda la información necesaria que muestre con precisión, claridad, objetividad y sencillez, lo que ha ocurrido en cuanto al desarrollo de la obra en el período correspondiente y en su caso, lo que espera que ocurra en el futuro. Dicha información se realizará conforme lo estipule el Cliente.

Los informes extraordinarios serán aquellos que traten sobre asuntos específicos o casos imprevistos que se presenten, tales como suspensión parcial o total de obra o algún otro evento que sea conveniente informar al Cliente, mismos que se producirán a solicitud del Cliente por iniciativa de la Supervisión y deberán entregarse por el medio autorizado.

El informe de finalización de la obra, la Supervisión, deberá entregarlo al Cliente anexando la bitácora.

Los correos electrónicos serán el medio que utilizará el Cliente para comunicar a La Supervisión sus órdenes, así como cualquier otro asunto relacionado con la obra y con los servicios de Supervisión; el mismo medio utilizará la Supervisión para transmitir cualquier asunto al Contratista.

La Supervisión llevará un registro y archivo consecutivo de estas comunicaciones y transmitirá de ellas al Contratista lo que corresponda, mediante copia de dichas comunicaciones.

Las bitácoras son el medio de comunicación oficial y legal entre el Cliente, La Supervisión y el Contratista, las anotaciones que se registren en la bitácora se refieren exclusivamente a la obra y serán principalmente las relativas a: órdenes, modificaciones, solicitudes, autorizaciones, cambios, aclaraciones al proyecto, a los programas y a los presupuestos.

Todo su contenido tendrá validez legal para las partes que intervienen en la emisión y recepción de dichas anotaciones. La bitácora estará actualizada permanentemente y deberá contarse con ella desde el inicio de la obra.

I. La bitácora se iniciará con el registro de las firmas de las personas autorizadas para emitir y recibir las comunicaciones por este medio, así como la fecha de iniciación de obra y terminará con el registro de los últimos detalles de la recepción final.

II. Es obligación de la Supervisión reunir en la bitácora las firmas, dándose por enteradas, de las personas autorizadas para recibir las comunicaciones por medio de ella, tanto por parte del Cliente, del Contratista y de la propia Supervisión.

Para el registro en la bitácora se requiere que se reúnan datos durante cada día de trabajo, en forma de memoria descriptiva, de las condiciones que se presenten y acontecimientos tales como:

- Condiciones climatológicas.
- Iniciación de las distintas etapas de la obra.
- Modificaciones.
- Entradas y salidas de equipo del Contratista.
- Apertura de nuevos frentes de trabajo.
- Suspensiones de obra y sus causas.
- Juntas de trabajo.
- Visitas de funcionarios del Cliente y de otras personas.

La Supervisión hará, a su juicio, apreciaciones generales de la capacidad técnica, económica y administrativa del Contratista y las pondrá en conocimiento del Cliente, por medio de las bitácoras, tanto en los informes periódicos como en el informe de finalización de la obra, para los fines que se estime conveniente.

2.5 ACTIVIDADES DE LA SUPERVISION PREVIAS A LA EJECUCIÓN DE LA OBRA.

2.5.1 INICIACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LA SUPERVISION.

La empresa supervisora proporcionará al Cliente los datos y registros necesarios para firmar el contrato de prestación de servicios, incluyendo en su caso las fianzas respectivas, iniciando sus actividades a partir de la fecha que fije el Cliente por orden escrita, siendo esta cuando menos con un mes de anticipación a la iniciación de la obra.

La Supervisión entregará al Cliente y al Contratista su organigrama para efectos de comunicación oficial. También proporcionará la nómina de los profesionales y técnicos asignados a la supervisión de la obra. Establecerá conjuntamente con el Cliente y el Contratista un directorio de la obra, con los datos de los funcionarios y representantes respectivos, de manera que se puedan localizar fácilmente, así como los de las autoridades y organismos que tengan relación con la obra.

Se establecerá conjuntamente con el Cliente el o los laboratorios que se emplearán para el control de la calidad de la obra. Se solicitará al Cliente los documentos relativos a la ejecución del proyecto: planos, especificaciones y normas, precios unitarios, incluyendo sus alcances detallados, los contratos y pedidos de materiales, programas, presupuestos, los documentos correspondientes a permisos y licencias oficiales; así mismo las normas de Supervisión y el Instructivo de Operación para la Supervisión de Obra.

Se debe obtener del Cliente o, en su caso, preparar la papelería y formatos que se utilizarán en el control y verificación de la obra. Se realizará la apertura de la bitácora de la obra. Se efectuarán juntas iniciales, para revisar las relaciones de trabajo y canales de comunicación entre los participantes en la ejecución de la obra.

La Supervisión revisará los requisitos de vigilancia, seguridad e higiene de la obra, de sus colindancias y de la vía pública conjuntamente con el Cliente y el responsable de estos aspectos por parte del Contratista.

Al recibir la documentación correspondiente a la ejecución de la obra, La Supervisión procederá a estudiarla en forma pormenorizada, para familiarizarse con las diversas partes del proyecto y sus características. Con toda la información anterior la Supervisión dará un informe completo al Cliente de las condiciones del contrato.

2.6 ACTIVIDADES DE LA SUPERVISION AL INICIO DE LA OBRA.

2.6.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.

La Supervisión deberá verificar la poligonal del proyecto (envolvente del predio) y la localización de bancos de marca antes de iniciar cualquier actividad.

En caso de que la empresa que realizó el levantamiento topográfico tuviera un error, el Cliente le ordenará a la misma que corrija la poligonal y le entregue a La Supervisión físicamente los vértices, distancias, ángulos, rumbos y bancos

de marca. En las oficinas de La Supervisión se deberá levantar una constancia de trabajo en la cual se manifestará, la corrección de la poligonal, procediendo conjuntamente a verificar físicamente dicha poligonal, para posteriormente firmar la constancia. Una vez concluida la corrección de la poligonal, se le entregará físicamente a la constructora los vértices, rumbos, distancias y bancos de marca, mediante una nota de bitácora para que comience la constructora los trabajos que tiene contratados.

El levantamiento y nivelación deberán conservarse como auxiliares en la cuantificación de los volúmenes de obra ejecutada.

2.7 ACTIVIDADES DE LA SUPERVISION DURANTE LA EJECUCIÓN DE LA OBRA.

2.7.1 APERTURA DE BITÁCORAS.

La Supervisión deberá abrir dos bitácoras:

- Bitácora de supervisión de obra, que será la que rija la comunicación entre El Cliente, La Supervisión y El Contratista.
- Bitácora para una institución determinada; en algunos proyectos, la institución que otorga los permisos de construcción, solicita se lleve una bitácora emitida por dicha institución, con su propio formato.

BITÁCORAS

Las bitácoras existen por una razón muy sencilla: en conjunto los técnicos que intervienen directa o indirectamente en la extensión de los procesos constructivos, no contemplan en planos, especificaciones, programas y presupuestos, lo que será la obra terminada. Al no prever en planos y/o especificaciones lo que habrá de resultar una vez construido, se presenta la necesidad de complementar el contrato con una serie de documentos técnicos que permitirán durante el desarrollo de los trabajos, contar con un recurso legal a fin de controlar y modificar lo establecido inicialmente para ajustarlo a la realidad. Estos recursos legales son las bitácoras.

Se considera que las bitácoras, son los elementos más determinantes para la buena marcha de los trabajos, por su carácter legal, para efectos técnicos, tienen la misma legalidad que los contratos.

Cuando se encuentra una libreta de bitácora elaborada con propiedad, se tiene la seguridad que refleja una obra limpia y ordenada.

La Supervisión de obra como representante del Cliente, se vale de la bitácora de obra para ordenar al Contratista los trabajos, regular su desarrollo y ejercer el control de la misma. La bitácora como instrumento de control, fue concebida pensando en la Supervisión.

En resumen la Bitácora de obra es un instrumento de carácter jurídico para establecer un orden y un equilibrio entre el Cliente, la Supervisión y el Contratista. La Supervisión transmite las órdenes pertinentes al Contratista a través de la bitácora de obra.

2.7.2 METODOLOGÍA.

Es fundamental para el supervisor contar con una metodología acorde a la responsabilidad del cargo, además de aplicarla a todas las funciones cotidianas, basando toda su actividad en el cumplimiento de la normativa vigente.

ACTIVIDADES DE CONTROL.

Comprenden como ya se mencionó, los controles de CALIDAD, TIEMPO Y COSTO, los cuales se operarán de acuerdo a las siguientes descripciones:

A-) CONTROLES DE CALIDAD.

Estos controles son regulados por las especificaciones, la mano de obra utilizada, así como las normas técnicas reglamentarias que proporcionan los fabricantes de materiales, maquinaria o equipos. La mejor manera de hacer algo es seguir las indicaciones de los fabricantes. Dicen los expertos en este tema que es más fácil, más barato y desde luego más rápido hacer las cosas bien y al primer intento.

Cualquier cosa que se elabore de manera diferente a lo mejor, ya sea de carácter técnico o administrativo, implicará un sobre costo al requerir de correcciones, así como otro costo al generar un retraso a todo el proceso constructivo.

Se deberá entender que es mejor prevenir todas las situaciones y estar realmente preparados para cuando deba realizarse cada parte del proceso

constructivo. Es importante decir que los controles de calidad son diferentes según el momento en que se aplican.

- **ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.** Este tipo de control es de carácter preventivo, que se aplica estableciendo procedimientos sencillos que puedan proporcionar anticipadamente la certeza de que los materiales son los indicados y cumplen las normas de calidad del fabricante, los procedimientos constructivos son los correctos y el orden de ejecución es lógico y conforme al programa de obra.

- **CONTROL DE CALIDAD.** Significa estar pendientes, de que todo se elabore a tiempo, con los materiales debidos y por medio de los procedimientos adecuados.

- **COMPROBACIÓN DE CALIDAD.** Se presenta después de realizado el procedimiento constructivo.

- **MÉTODO PARA EL CONTROL DE CALIDAD: CONTAR CON ESPECIFICACIONES COMPLETAS DE TODAS LAS ACTIVIDADES.**

Carecer de especificaciones representa que cada quien habrá de hacer las cosas como mejor le parezca o como mejor le convenga; como la función de la Supervisión es precisamente evitar esto, es importante y se deberá trabajar con las especificaciones, ya que son los parámetros con los cuales se exigirá el cumplimiento de calidad sin necesidad de discutir lo incumplido; es necesario recordar que no se podrá pedir algo que no está escrito y no es conocido antes de iniciar los trabajos. En atención a lo mencionado, el supervisor deberá

solicitar por escrito dichas especificaciones después de haber analizado el contenido de los anexos técnicos del contrato. Con la aprobación y apoyo del Cliente es preciso, revisar y estudiar con todo detenimiento las especificaciones y con base en este estudio determinar los faltantes para marcarlos en el reclamo que se realice. En caso de que no se proporcionen las especificaciones, la Supervisión deberá insistir por medio de la bitácora u otro medio escrito, hasta obtenerlas.

La especificación correcta debe contar con una descripción pormenorizada del procedimiento constructivo, señalando con qué herramientas se realizará el trabajo, en qué momento, qué actividades previas se requieren, cómo debe quedar terminado el trabajo, en su caso a qué pruebas debe ser sometido. También debe mencionar los materiales a utilizar precisando dimensiones, calidad y si es necesario marca, nombre comercial, modelo y tipo. Por último, se deberá revisar la correlación entre LAS ESPECIFICACIONES y el CATALOGO DE PARTIDAS del presupuesto para cerciorarse de que lo que se solicita para realizar sea lo mismo que se costeo.

B-) CONTROLES DE TIEMPO.

Son regulados por el programa de la obra. La función del supervisor consiste en vigilar que el avance se realice cuando menos como lo establece el citado programa y en caso contrario proceder en primer término a informar al Contratista a adoptar medidas adecuadas, con el fin de corregir las

desviaciones y a mantener una vigilancia de su comportamiento; en caso de persistir las desviaciones tomar medidas eficaces hasta corregirla, para llevar a cabo estos controles, se deberá ceñir a las siguientes recomendaciones:

1) Revisión semanal del Programa.

Se efectuará un corte semanal de todas las partidas, actividades o conceptos en proceso, para así poder evaluar el avance real de la obra. Para efectuar este corte se requiere de un recorrido por la obra durante el cual se anotarán los avances en cada una de las actividades por unidad, por sección o de la manera que se adecuó al tipo de obra.

Existe un método denominado "LEY DE PARETO", Se basa en el principio de que en el 20% de los conceptos de un presupuesto cualquiera está contenido el 80% del valor de obra: por lo tanto, para esta selección se deberá emplear todo el tiempo necesario. Cuando se tenga la seguridad de haber logrado el fin perseguido, se podrá reducir en forma importante el tiempo utilizado en la elaboración de avances de obra, aumentando la efectividad pues se podrán desarrollar mejor las demás responsabilidades que implica la Supervisión.

Es importante hacer las siguientes observaciones respecto a la LEY DE PARETO:

PRIMERO. Es aplicable a todas las actividades que debe realizar un supervisor.

SEGUNDO. Debe tenerse criterio analítico para su aplicación ya que según el caso, se deberá decidir el tratamiento a dar al 80% de conceptos contenidos en los de mayor importancia jerárquica.

Es fundamental conservar el orden absoluto en todos los aspectos, los registros de avance de obra deben ser claros y comprensibles para cualquier persona.

El pasar en limpio las notas tomadas durante un recorrido de campo, siempre dará la tranquilidad de contar con todos los elementos comprobatorios respecto a los controles ejercidos y en ejercicio.

C-) CONTROL TÉCNICO EN LA OBRA (control de costo).

La Supervisión establecerá con el Contratista, al iniciar la obra, los controles de calidad para los materiales, elementos constructivos, mano de obra, procedimientos de construcción, equipos e instalaciones, así como la intervención de un laboratorio, para que se cumplan las especificaciones generales y técnicas de construcción del Cliente y particulares del proyecto. Estos controles, de inmediato se harán del conocimiento del Cliente.

La Supervisión vigilará el cumplimiento de todos los detalles e información en los planos, y en las especificaciones generales y Técnicas de construcción del Cliente y particulares del proyecto, respecto a trazos, localizaciones, dimensiones, apariencias, cantidades, proporciones, colocaciones, tolerancias, resistencias, pruebas y funcionamiento de todos los elementos que; según el caso constituyan la obra..

La Supervisión ordenará al Contratista, las reparaciones y reposiciones que sean necesarias por motivo de falta de apego del proyecto a las especificaciones generales y técnicas de construcción del Cliente o los

particulares del proyecto, y evaluará los daños y perjuicios ocasionados en su caso por estos motivos, e informará de ello al Cliente en su oportunidad. Tanto las reparaciones y reposiciones como los daños y perjuicios los hará y resolverá el Contratista por su cuenta. Si llegará a presentarse una situación crítica en la obra por alguno de los motivos antes mencionados, la Supervisión previa consulta con el Cliente, podrá ordenar al Contratista la suspensión de la obra.

CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.

La Supervisión llevará a cabo oportunamente las pruebas de verificación de calidad con apoyo en el laboratorio elegido por el Cliente, ya sea en la obra o en las plantas de fabricación.

Calificar los resultados obtenidos comparándolos con los requisitos de calidad y las tolerancias consignadas en las especificaciones y normas generales y especificaciones particulares del proyecto.

2.7.3 CONTROL DE LOS RECURSOS HUMANOS, MATERIALES Y EQUIPO.

La Supervisión registrará diariamente y por cada frente de trabajo las cantidades y categorías de personal, así como las características del mismo para verificar que la ejecución de la obra se realice con los recursos programados, elaborando un registro de los rendimientos observados para establecer posibles causas de errores y medidas correctivas. Verificará que la llegada de los materiales a la obra corresponda con fechas y cantidades programadas, se llevará a cabo su registro; en caso de observar diferencias que

afecten negativamente la obra, se ordenará al Contratista su corrección. Analizará y propondrá al Cliente la sustitución de materiales, atendiendo a especificaciones, costo y plazo de entrega, en beneficio de la obra. La escasez de recursos ocasiona retrasos en el programa de ejecución, cuidando así que el Contratista argumente que esto no es imputable a él, solicitando una reprogramación para el término de la obra.

La Supervisión verificará en todo caso, la utilización adecuada de materiales y equipos suministrados por el Cliente.

2.7.4 CONTROL DE PROGRAMAS.

A La Supervisión le corresponde la verificación, del avance físico de los trabajos. Se solicitará al Contratista que entregue, dentro del plazo que le haya fijado el Cliente, los programas detallados de construcción para cada frente de trabajo y el programa general integrado a partir de los anteriores, que deberán respetar los lineamientos fijados por el Cliente.

Se solicitará al Contratista, como mínimo, los siguientes sub-programas de asignación de recursos:

1. De maquinaria y equipo de construcción, indicando sus características y cantidad para cada frente de trabajo, las necesidades mensuales- en forma cualitativa y cuantitativa - que será congruente con el programa de construcción.

2. De suministro de materiales del Contratista; será congruente con las cantidades de trabajo por ejecutar, según el programa de construcción, deberá considerar: los requerimientos globales de materiales y equipos a instalarse por cada mes; la fuente de suministro de cada material y equipo, la fecha en que debe ser solicitado el suministro y la fecha en que deben ser entregados en la obra y la asignación de la ingeniería básica para la revisión y verificación de la maquinaria.

3. De recursos humanos. Contendrá por lo menos, las necesidades semanales de personal para la obra, por especialidad y categoría, siempre de acuerdo con el programa de construcción.

Se verificará que los programas contemplen las limitaciones impuestas por factores ajenos a la responsabilidad del Contratista, previo al inicio de la obra y durante la construcción; tales como: preparación del sitio o sus accesos, entrega de predios, liberación de interferencias y suministros directos del Cliente.

Para efectuar la revisión mencionada en el párrafo anterior, la Supervisión podrá exigir al Contratista que le proporcione todos los datos básicos que haya utilizado en la formulación de los programas que son: planeación y estrategia de construcción definidas a partir de los lineamientos del Cliente; lógica de ejecución consignada en diagramas de precedencia, las restricciones de tiempo pactadas contractualmente así como las de orden físico, financiero o relativas a la seguridad de la obra, el cálculo de duración de las actividades, y la inclusión

de contingencias y condiciones adversas al desarrollo de los trabajos. Además la determinación de los tiempos de ejecución, parciales y totales, de la obra y las holguras de sus actividades, con apoyo en las técnicas que se utilizan para este efecto o en las que específicamente exija el Cliente. Corroborar que los tiempos asignados a las actividades programadas sean congruentes con los recursos y rendimientos considerados, así como las cantidades de obra por ejecutar.

Se implementará en la obra estos programas, una vez aprobados por el Cliente, los que tendrán carácter de documentos contractuales, verificando que no existe ningún frente de trabajo que carezca de programa. Luego se verificará el cumplimiento de los programas, por parte del Contratista, para garantizar las fechas de entrega pactadas contractualmente, comparando la producción real contra la programada, con la periodicidad de revisión preestablecida o lo que amerite la problemática de avance de la obra.

Para este efecto se hará un levantamiento de las cantidades de obra ejecutada en el período establecido, que puedan considerarse como terminadas, las que se medirán en las mismas unidades establecidas en el programa, así como de la obra que esté en proceso, ponderando su grado de avance.

Para determinar los avances por partida, se deben cuantificar los volúmenes de obra correspondientes a cada partida que se está ejecutando, obteniendo un avance físico real; suele utilizarse la fórmula siguiente para obtener el avance en % (porcentaje) por partida.

Porcentaje de Avance = (volumen físico x precio unitario)/Monto total contratado

Una vez logrado este objetivo se debe comparar con el avance del programa, obteniendo el desfase o porcentaje de retraso; esta desviación con respecto al programa se presenta por varias razones:

- a) Escasez de materiales en la zona.
- b) Escasez de personal calificado para desempeñar los trabajos.
- c) Mala organización dentro de la obra.
- d) Deficiencias de suministros de material y bajo rendimiento del personal.

Una vez obtenido el porcentaje de retraso, se debe anotar en la bitácora para dejar un antecedente del desarrollo de la obra, así como las causas que originaron la desviación, porque es de ahí donde el Contratista fundamenta las solicitudes de reprogramación y esto da como consecuencia más tiempo y costo.

Se deberán reportar oportunamente y de acuerdo a su relevancia, las desviaciones que se presenten como resultado de la comparación mencionada, para tomar las medidas correctivas a la brevedad posible. Investigar las causas de retraso, indicando si son imputables al Contratista por falta de recursos (con apoyo en los subprogramas de insumos), omisión de actividades en el programa de obra, fallas de equipo, apreciación equivocada de rendimientos, o

bien si son responsabilidad de terceros, señalando también el motivo de las mismas.

Aislar las actividades críticas que acusen atrasos de las restantes del programa, para darles un seguimiento especialmente detallado en el proceso de revisión y estudiar conjuntamente con el Contratista, si estos pueden recuperarse con acciones correctivas que sean realistas en cuanto a los recursos necesarios, ajustando los programas en consecuencia con las decisiones que el Cliente tome al respecto. Se deben proponer conjuntamente con el Contratista las reprogramaciones parciales o totales que se ameriten, acordes con los objetivos establecidos por el Cliente.

2.7.5 CONTROL DE ESTIMACIONES.

La Supervisión y el Contratista, al inicio de la obra, deben establecer mediante un acta de trabajo, la periodicidad con que se realizarán las estimaciones y la metodología que consistirá en hacer los levantamientos de volúmenes directamente en la obra; una vez conciliados los volúmenes de obra, se procederá a realizar la estimación en los formatos autorizados por el Cliente, posteriormente el Contratista debe entregar las estimaciones a la Supervisión para su autorización, concordando estas con el levantamiento físico realizado. Al ser revisadas y firmadas las estimaciones se entregan al Contratista mediante memorándum quedando una copia a la Supervisión, procediendo a registrar los volúmenes de obra por partida, para saber que volúmenes se están

autorizando y evitar duplicidades; con estos datos la Supervisión determina el avance de obra en cualquier momento y se tiene el control del importe que se ha autorizado.

La elaboración de las estimaciones estará a cargo del Contratista, La Supervisión debe ratificar la valoración de la estimación, en cuanto a cantidades reales ejecutadas con las mediciones en obra, por partida y precios unitarios, aprobarla y entregarla al Cliente en el plazo señalado, debidamente firmada de conformidad por parte del Contratista.

La Supervisión notificará oportunamente al Contratista que las obras que ejecute fuera del proyecto, del presupuesto o de las órdenes respectivas, no se estimarán.

Cuando durante la ejecución de la obra se requieran efectuar trabajos extraordinarios por cambio de proyecto, especificaciones o condiciones especiales de la obra, la Supervisión presentará al Cliente sus observaciones sobre ellos, con alternativas de solución en las que se analizarán costos y tiempos, para su revisión y aprobación en su caso. De la solución que apruebe, la Supervisión dará al Contratista toda la información necesaria y las ordenes correspondientes.

Se informará al Cliente sobre los trabajos extraordinarios que no estén comprendidos en el proyecto, para que el Contratista presente los precios unitarios correspondientes.

2.8 ACTIVIDADES DE LA SUPERVISION EN LA FINALIZACIÓN Y ENTREGA DE LA OBRA.

Faltando el cinco por ciento para concluir la obra, la Supervisión, requerirá al Contratista para que este por escrito solicite la terminación de la obra.

Contando con dicha solicitud la Supervisión deberá llevar a cabo las siguientes acciones:

2.8.1 VERIFICAR CON EL CLIENTE QUE LA OBRA HA QUEDADO TERMINADA.

A) Se recorrerá la obra para verificar que esté totalmente terminada, en este recorrido estarán presentes personal de: el Cliente, La Supervisión y del Contratista.

En caso de que se detecten partidas inconclusas, o equipos faltantes, conjuntamente con el Contratista se hará el levantamiento correspondiente y se exigirá un programa para concluir los detalles faltantes, programa al que se dará seguimiento diario.

B) Verificar que en cada una de las obras realizadas se hayan efectuado las pruebas correspondientes.

2.8.2 ATENDER LAS INCONFORMIDADES DE LOS CONTRATISTAS.

La Supervisión atenderá y dará trámite a las inconformidades que se pudieran presentar con la terminación de la obra, elaborando para tal efecto un informe al Cliente y anexando su punto de vista sobre las mismas.

2.8.3 FIJAR FECHAS REALES DE RECEPCIÓN.

La Supervisión notificará al Cliente cuando cada contratista y/o proveedor haya complementado satisfactoriamente su trabajo y en ese momento se elaborará y coordinará el programa para la recepción final de los trabajos.

La entrega de las obras, coordinada por la Supervisión, se llevará a cabo, levantándose el acta de recepción final; cuyo contenido seguirá los lineamientos que para tal caso señala el contrato.

2.8.4 FINIQUITO DE LOS SERVICIOS DE LA SUPERVISION.

Una vez recibida la obra por el Cliente, la Supervisión deberá solicitar, por escrito, el acta de finiquito de sus servicios.

A) Entregar al Cliente para su custodia, la documentación que respalde su actuación: Bitácoras de obra y supervisión, informe de terminación de obra, finiquitos y actas de recepción-entrega.

B) Entregar al cliente los levantamientos referentes a la actuación del proyecto: adecuaciones, modificaciones y cancelaciones.

C) A petición expresa del Cliente:

- Presentar una apreciación de la capacidad técnica, económica y administrativa del Contratista.
- Elaborar los planos de la obra tal como queda ejecutada (como construido).

D) Cuando haya sido recibida a satisfacción del Cliente la documentación mencionada, la Supervisión procederá a elaborar el acta de finiquito de los servicios proporcionados.

CAPÍTULO III

TERRACERÍA

TERRACERÍA

Se llama así a todo trabajo realizado con diferentes tipos de suelos en terrenos acondicionados, manualmente o con maquinaria, para ser empleados en la construcción de infraestructura rural y urbana. El suelo queda aplanado y carece de cualquier tipo de revestimiento (arena, grava, asfalto o concreto), es decir, es exclusivamente de tierra.

Las obras de terracería son los procedimientos constructivos realizados entre la limpieza del lugar y la pavimentación del camino o excavación de las cimentaciones de un edificio. Son las operaciones donde los volúmenes de material se retiran: “*cortes*” o, bien, se colocan y compactan para servir de relleno: “*terraplenes*”, esto con el fin de alcanzar el nivel de la *subrasante* o el nivel de desplante, en la construcción de una carretera o un edificio respectivamente.

La *subrasante* (*en edificaciones: nivel de desplante*) es la línea que determina la altura de la terracería y es a partir de ésta donde se empiezan a colocar las capas del pavimento o cimentaciones. Es deseable que el material retirado sirva de relleno en algún otro punto, por cuestiones de economía.

También es importante tener conocimiento del material retirado, y que ya no es posible ocupar, a éste se le denomina “desperdicio”. Cuando ya no es posible ocupar el material de los cortes, para relleno, se le puede obtener de lugares

denominados “préstamos”: “préstamo lateral”, si se encuentra dentro del “derecho de vía”; y “préstamo de banco”, que se adquiere de cualquier otro sitio.

Sección transversal

La *sección transversal* nos permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino o edificación y su relación con el terreno natural. La *sección transversal* está definida como un corte vertical normal al alineamiento horizontal en un punto cualquiera.

Los elementos que componen y definen la *sección transversal en carreteras* son: la corona, la subcorona, las cunetas, las contracunetas, los taludes y las estructuras complementarias como los elementos del drenaje.

Corona: es la superficie del camino terminado, que queda comprendida entre los hombros del camino, es decir, las aristas superiores de los taludes del terraplén o, bien, las aristas interiores de las cunetas. Los elementos que definen la *corona* son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos:

- a) **Rasante.** La línea que nos marca, en un plano vertical, el eje del camino.
- b) **Pendiente transversal.** Es la pendiente que se le da a la *corona*, la cual es “normal” al eje del camino.
- c) **Calzada.** Es la parte de la corona destinada al tránsito.

d) **Acotamientos.** Son las franjas del camino, entre la calzada y los hombros de éste.

Subcorona: es el plano que delimita a las terracerías y sobre éstas se colocan las capas de pavimento.

Las cunetas y contracunetas: son elementos que pertenecen a las obras de drenaje.

Los taludes: son las paredes que se forman al construir los terraplenes y realizar los cortes.

La imagen que enseguida se presenta ilustra de manera clara los elementos de la *sección transversal*.

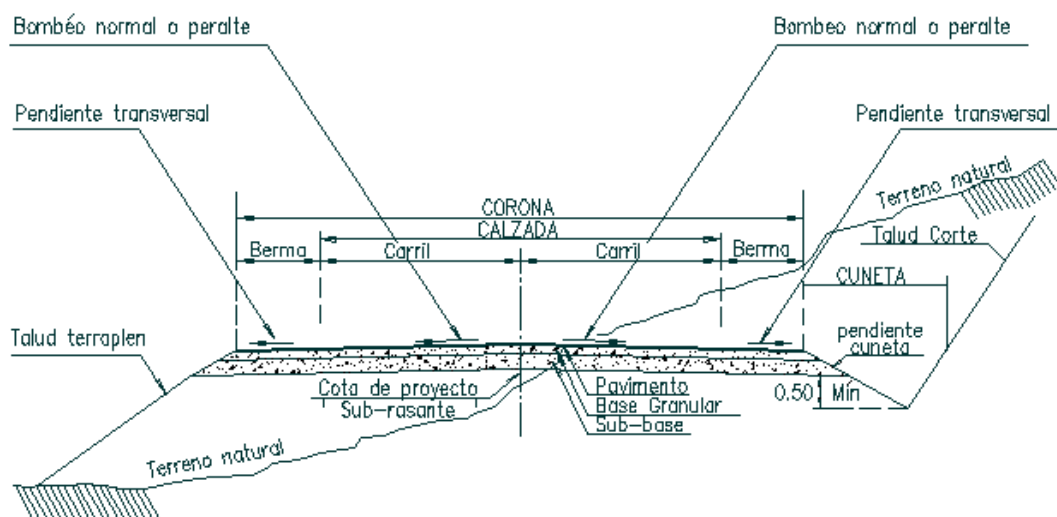


Imagen 1: Esquematación de los elementos que constituyen la sección trasversal de una carretera.

En el esquema anterior se muestran posibles secciones transversales con las que nos podríamos encontrar durante la construcción de una carretera o edificación: sección de corte; sección mixta en la que existe terraplén y existe corte, sección de terraplén y sección de terreno natural, donde no se requieren ni corte ni terraplén.

3.1 ETAPAS DE UN PROYECTO DE TERRACERIA.

3.1.1 DISEÑO DE UN PROYECTO.

La construcción es una industria en la que se exige que cada obrero trabaje sin poner en riesgo su bienestar, por esto se busca proporcionar, a los sectores que la componen, mayor seguridad; conservando la calidad y economía, que son fundamentales en todo proyecto. Se pone, por lo tanto, especial atención a estas características desde la etapa de diseño.

El Anteproyecto es el primero de los componentes del diseño que se considera, que consiste en levantamientos topográficos y en diversos estudios geológicos y de mecánica de suelos para ayudar a obtener el mejor **diseño** posible. Posteriormente y con la información recopilada se desarrolla el **proyecto definitivo**, en el cual se afinen los detalles del proyecto en su geometría.

En la etapa del anteproyecto, los estudios geotécnicos son más detallados y en éstos intervienen ingenieros especialistas en Geología, Hidrología y Mecánica

de Suelos, quienes se familiarizan con el terreno en estudio y asesoran a los ingenieros que realizan los proyectos geométricos; para cruzar las zonas que representan menos problemas. Las decisiones se toman con base en estas recomendaciones y en estudios de carácter económico, en los que es de vital importancia determinar el tipo de obra que se habrá de realizar.

En la etapa del proyecto definitivo los estudios geotécnicos ya son de carácter particular y se hace un recorrido detallado del trazo proyectado, además de sondeos y, de ser necesario, estudios geofísicos para conocer la estratigrafía del terreno a intervenir. En estos estudios ya se incluyen los espesores de las capas; la clasificación de los materiales, tanto en el aspecto geotécnico como para considerar costos; los coeficientes de variación volumétrica para el estudio de los acarrees; y la capacidad de carga del terreno para cimentar las estructuras correspondientes.

En esta etapa se toma una muestra de suelo del lugar y/o del banco de préstamo, lo suficientemente grande (unos 25 kg), y se envía al laboratorio para que realicen los ensayos de clasificación de suelos (SUCS) y proctor (AASHTO T-180). Los resultados ayudarán a determinar el tipo de maquinaria apropiada para la compactación y los valores a utilizar como referencia para determinar el grado de compactación.

3.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO.

La ejecución de un **proyecto** inicia marcando el trazo, en esta etapa se debe tener el cuidado de colocar, con la mayor precisión posible, cada punto según lo indica el plano; ya que dicho trazo será el camino a seguir, tanto horizontal como verticalmente. Esto se hace con el apoyo de topógrafos, que colocan estacas que sirven para delimitar las áreas a limpiar y de guía de trabajo al iniciar el movimiento de tierras.

Después de marcar el trazo con las estacas, en el terreno, se procede a la limpieza del área de trabajo, que comprende el desmonte y despalme; es decir la eliminación o disposición, en un nuevo sitio, del material vegetal del lugar. Esto incluye: árboles, arbustos, matorrales, y la eliminación del follaje.

Al concluir con la limpieza del lugar se inicia con la construcción de las terracerías (ver la imagen 2), en las cuales se realiza el movimiento de tierras necesario para formar los cortes y terraplenes, al mismo tiempo que se llevan a cabo los trabajos de construcción de obras de drenaje y estructuras, hasta dejar el terreno o camino listo para la siguiente fase del proyecto.

En esta etapa se determina el grado de compactación del suelo realizando, según convenga, el ensayo de cono de arena (ASTM D-1556) o el ensayo con densímetro nuclear (ASTM D-2922). Los resultados satisfactorios se reportan como apoyo a la garantía de buena obra.

Cuando se requiere modificar las propiedades del suelo, incrementando su resistencia e impermeabilidad, se acostumbra diseñar una mezcla de suelo-cemento. Esta mezcla se coloca, en la mayoría de ocasiones, bajo las zapatas o bajo las cimentaciones principales de la estructura que se construirá. El control de compactación se realiza, en campo, de forma similar al control de compactación del suelo natural, con la diferencia de que las normas que rigen estos ensayos son la ASTM D-558 y la AASHTO T-134.

Si en un caso específico el espacio en el que se debe colocar el suelo-cemento no permite la entrada de ninguna máquina para realizar la compactación requerida, se utiliza lodocreto; que es la mezcla de suelo-cemento fluida, para que al vaciarla se acomode por sí misma. El control de la resistencia de la mezcla de suelo-cemento (lodocreto) se realiza de acuerdo a la norma **ASTM D-4832.**



Imagen 2: Inicio de los trabajos de terracería.

3.1.3 MANTENIMIENTO Y CONSERVACIÓN.

Para lograr que los trabajos de terracería permanezcan incólumes hasta el inicio de la siguiente fase de un proyecto estos requieren **mantenimiento**. El deterioro es producido por las condiciones meteorológicas: lluvia, expansión térmica y oxidación.

Los trabajos de **mantenimiento y conservación** (ver la imagen 3) son muy diversos y su magnitud y frecuencia dependen de las condiciones climatológicas del entorno.



Imagen 3: Trabajo de conservación de terracería. Renivelación y tendido de suelo, en un proyecto de edificación.

3.2 PRELIMINARES.

3.2.1 TRAZO.

Al tener definida la construcción, se determinan las actividades en que se dividirá la obra y los procedimientos que esta implicará, los recursos materiales y los recursos humanos que van a intervenir; de acuerdo con el proyecto. Al iniciar las labores de construcción lo primero que se hace es marcar **el trazo**, para ello se ocupan la o las brigadas de topografía que sean necesarias. La primera en entrar a campo es la brigada de *trazo*, conformada por el topógrafo, equipado de una estación total y nivel óptico; los cadeneros necesarios (mínimo 2) y, en caso de ser necesario, los brecheros. Este equipo tiene el importante trabajo de ubicar en campo las estaciones y los elementos geométricos principales de los ejes plasmados en el plano, los cuales se marcan en el terreno, a través de estacas (que sirven de guía de trabajo). En ellas se escriben las siglas del elemento geométrico, así como el cadenamiento en que se encuentra éste. Las siglas más utilizadas, con las que se señalan los elementos geométricos son las siguientes:

SIGLAS	ELEMENTO GEOMÉTRICO
PST	Punto sobre tangente
PC	Principia curva
PT	Principia tangente
TE	Tangente espiral

SIGLAS	ELEMENTO GEOMÉTRICO
EC	Espiral curva
CE	Curva espiral
ET	Espiral tangente
PSC	Punto sobre la curva
PSE	Punto sobre la espiral
PI	Punto de inflexión
PG	Poligonal, o punto de la poligonal

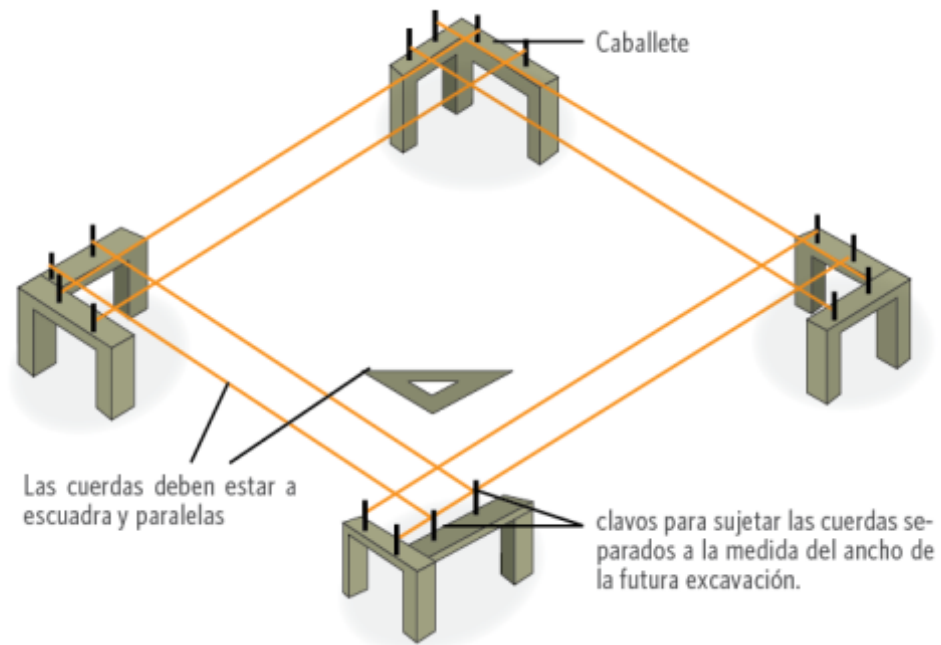


Imagen 4: Elementos de Trazo y Nivelación, al inicio de una construcción.

Una vez terminado el *trazo* de los ejes en el plano horizontal, se procede a trazar en el terreno las cotas de construcción, las cuales se marcan con estacas de madera indicando en ellas la altura correspondiente a cada elemento (el punto de referencia o cota inicial se conoce como BANCO DE MARCA), esto servirá de guía para iniciar con los trabajos: despalme del terreno natural; y posteriormente para las labores del movimiento de tierras: terraplén o corte, según sea necesario. Es importante mencionar que este trabajo se repite las veces que sea necesario, para la correcta construcción de las diversas capas del terraplén o corte. Para la realización de este trabajo, es importante contar también con el apoyo de la brigada de nivelación, que irá verificando constantemente el avance de los cuerpos ya formados manteniendo un control adecuado de las elevaciones construidas, conservando así la optimización de los equipos y materiales con que se cuenta. Cada una de las estacas debe estar debidamente referenciada y éstas generalmente se colocan a una distancia fija entre ellas, para poder sustituirlas en caso de que se muevan o pierdan durante los trabajos.

Para la construcción de carreteras los datos que deben ser llevados al campo son: la cota del terreno en el eje del camino; la cota de la subrasante en el eje del camino; el ancho de la sección del camino; y los taludes o terraplenes del camino; todos estos deben ser llevados cada 20 metros, o menos, si la topografía o requisitos del proyecto lo ameritan.

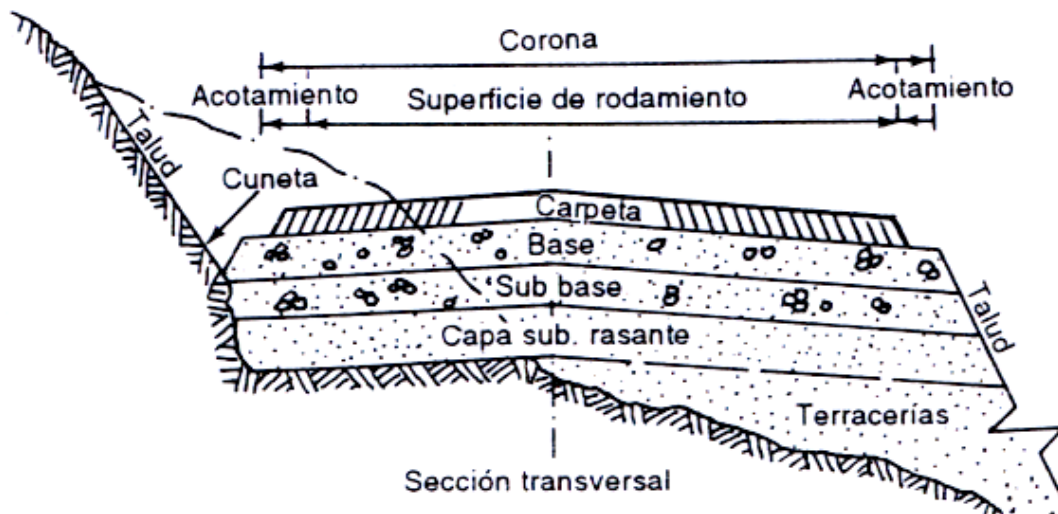


Imagen 5: vista de los elementos que se deben identificar al trazar una calle o carretera.

A continuación se incluye una breve descripción de las herramientas de mayor uso en las técnicas topográficas más comunes, en el *trazo* de una carretera o una edificación.

Cinta métrica: *cinta* flexible graduada. Es una herramienta utilizada en medición de distancias, se fabrica con una delgada lámina de acero al cromo, o de aluminio, o con un tramado de fibras de carbono, unidas mediante un polímero de teflón. Las *cintas métricas* más usadas son las de 10 m, 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 50 m y 100 m.



Imagen 6: Cinta métrica para medir largas distancias.

Las dos últimas *cintas*, de mayor extensión, son las llamadas de agrimensor y se fabrican únicamente en acero, ya que la fuerza necesaria para tensarlas podría producir un crecimiento, si estuvieran construidas en un material menos resistente a la tracción. Las más pequeñas están centimetradas, e incluso algunas milimetradas, con las marcas y los números pintados o grabados sobre la superficie de la *cinta*, mientras que las de agrimensor son marcadas, cada 2 dm, mediante remaches de cobre o bronce fijos a la *cinta*, utilizando un remache algo mayor para los números impares y un pequeño óvalo numerado para los números pares. Por lo general están protegidas dentro de un rodete de latón o PVC. Las de agrimensor tienen dos manijas de bronce en sus extremos para su exacto tensado y es posible desprenderlas completamente del rodete para mayor comodidad.

Teodolito: instrumento universal empleado principalmente para la medición de ángulos horizontales y verticales, para medir distancias con estadia y para prolongar alineaciones. El *teodolito* lleva un anteojo capaz de girar alrededor de un eje vertical y de otro horizontal; ordinariamente está provisto de una brújula magnética y va montado en un trípode.



Imagen 7: Teodolito, usado para levantamientos topográficos.

Nivel: aparato que tiene como finalidad la medición de desniveles y representa una referencia con respecto a un plano horizontal. Este aparato ayuda a determinar la diferencia de elevación entre dos puntos con la ayuda de un estadal.



Imagen 8: Nivel óptico con trípode y estadia.

Hoy en día estas tres herramientas han ido quedando en desuso, debido a herramientas más modernas, o de última tecnología.

Estación Total: es un instrumento electro-óptico utilizado en topografía para medir distancias, ángulos y desniveles, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Tiene una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD = Liquid Crystal Display), iluminación independiente de la luz solar; tiene calculadora, distanciómetro, trakeador (seguidor de trayectoria); guarda información en formato electrónico en diversos programas, calcula coordenadas y replantea puntos.



Imagen 9: Estación total y prisma, es el aparato de medición topográfica usual.

Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Topográfico: estos equipos ayudan a calcular distancias a partir de la georreferenciación satelital y tienen precisiones desde varios milímetros hasta menos de medio metro.

Existe el GPS de una banda (L1) y el de dos bandas (L1, L2). La diferencia es que para el GPS de una banda se garantiza la precisión milimétrica en distancias menores a 40 km entre antenas; en el GPS de dos bandas la

precisión milimétrica es de hasta 300 km; si bien se pueden realizar mediciones a distancias mayores, ya no se garantiza la precisión de las lecturas.

El GPS no reemplaza a la Estación Total, en la mayoría de los casos se complementan.



Imagen 10: GPS, sistema de posicionamiento global. Aparato que determina las coordenadas de un punto sobre la superficie de la tierra.

3.2.2 DESMONTE Y DESPALME.

El *despalme* y *desmonte* son las primeras operaciones que se deben realizar antes de cualquier movimiento de tierras.

“El **desmonte** es la remoción de la vegetación existente en el terreno, en el derecho de vía, en las zonas de bancos, de canales y en las áreas que se destinen a instalaciones o edificaciones, entre otras, con objeto de eliminar la presencia de material vegetal, impedir daños a la obra y mejorar la visibilidad.”

El desmonte comprende:

- 1) Tala, que consiste en cortar los árboles y arbustos.
- 2) Roza, que consiste en cortar y retirar la maleza, hierba o residuos de siembra.
- 3) Desenraice, que consiste en sacar los troncos, con o sin raíces.
- 4) Limpia y disposición final, que consiste en retirar el producto del desmonte al banco de desperdicios que indique el proyecto.

“El **despalme** es la remoción del material superficial del terreno, de acuerdo con lo establecido en el proyecto. Con objeto de evitar la mezcla del material de las terracerías, con materia orgánica o con depósitos de material no utilizable.”

Es muy importante que en el lugar se haga una correcta disposición del “material vegetal” y del “material de banco”, ya sea que vaya a ser desechado o reubicado.

Tala

Una vez definida la ruta por donde pasará una carretera o donde se ubicará la edificación, puede ser que en la labor de desmonte se requiera la *tala* de árboles. Si los árboles son adecuados para producir madera, se talan con ayuda de personal especializado y luego se cortan en medidas comerciales

para su aprovechamiento. Este proceso también puede ser hecho por maquinaria, excavadoras que van desprendiendo los árboles desde su raíz.



Imagen 11: Pala excavadora cortando árboles.

Cuando el “material vegetal” no requiere de otra disposición y debe ser eliminado por completo, se puede proceder a la utilización de tractores, estos eliminan de forma general la materia orgánica superficial, árboles, arbustos, residuos agrícolas, etc. Este método simplifica el procedimiento y se puede decir que se realizan la *tala* y la *roza* al mismo tiempo.



Imagen 12: Tractor realizando tala y roza simultáneamente.

Roza

Posterior a la eliminación de los árboles, o cuando no existen estos, se procede a retirar los arbustos y matorrales, esto generalmente se ejecuta con personal especializado, como biólogos, por si se requiere de la conservación y reubicación de las especies vegetales del lugar; de no ser así, al igual que en la tala, se emplea maquinaria para remover con mayor facilidad la maleza.



Imagen 13: Tractor realizando el proceso de roza.

Desenraice

En este procedimiento se buscan todas las raíces y la materia vegetal que pudiese haber quedado debajo de la superficie, se desentierran y eliminan del sitio, a fin de impedir que este material orgánico pueda llegar a pudrirse, dejar huecos debajo de la superficie y con ello provocar asentamientos en la carretera o edificación. Por lo general esta maniobra se hace con ayuda de excavadoras.

Limpia y disposición final del desmonte. Todo el material vegetal resultante del desmonte, y que es retirado del lugar, ya sea para su reubicación, o como

material de desperdicio, deberá ser transportado y almacenado según como se indique en el proyecto.

Según la normativa de transporte “Los residuos producto del desmonte se cargarán y transportarán al sitio o banco de desperdicios que indique el proyecto, en vehículos adecuados, o con cajas cerradas y protegidas con lonas, que impidan la contaminación del entorno, o que se derramen. Cuando se trate de materiales que no vayan a ser aprovechados posteriormente y que hayan sido depositados en algún almacén temporal, serán trasladados al banco de desperdicios lo más pronto posible. El transporte y disposición de los residuos se sujetarán, en lo que corresponda a las leyes y reglamentos de protección ecológicas vigentes.”



Imagen 14: Acarreo de material, producto del desmonte, para su disposición final.

Despalme

El último procedimiento dentro de los trabajos preliminares es el *despalme*, en éste se busca eliminar la totalidad de la materia vegetal, así como la materia que no será utilizada. Para ello se utilizan generalmente tractores con sus diferentes accesorios, así como cargadores frontales.

Al concluir esta etapa el terreno queda delimitado y limpio para iniciar los procesos que formarán el cuerpo y la estructura.

En la siguiente imagen se observa el despalme finalizado. El terreno está listo para dar inicio a la construcción de las terracerías.



Imagen 15: Terreno en que se ha concluido el proceso de terracería.

3.3 MAQUINARIA.

Existen diversos procedimientos para la construcción de las terracerías. El procedimiento adecuado generalmente depende del tipo de suelo, de modo que, una vez definido el tipo de suelo con el que se va a trabajar y el procedimiento a seguir; se procede a elegir la *maquinaria* a emplear. Cabe mencionar que un adecuado análisis en la selección de la maquinaria es vital para optimizar los tiempos y gastos de la obra.

Enseguida se presenta la maquinaria de más uso en la construcción de terracerías, su utilidad y características:

3.3.1 MOTOESCREPAS.

(Rendimiento aproximado= 140 m³/h)

Son máquinas que van montadas sobre cuatro grandes neumáticos, creadas para mover grandes volúmenes de material y luego depositarlo a distancias alejadas de la obra. Están diseñadas con una caja metálica rectangular unida al tractor, por medio de una estructura articulada en forma de cuello de ganso. En su parte inferior tiene adaptada una cuchilla cortadora o dientes; en la parte frontal tiene una placa deslizante graduable, con la que se controla el espesor del corte; con respecto a su interior, está equipado con una placa eyectora, para extraer de manera gradual el material excavado; su mecanismo es operado por un sistema hidráulico. Existen en el mercado diferentes modelos de estas

máquinas, según la marca. La capacidad en las cajas de estas grandes máquinas varía de 8 m³ a 40 m³, y alcanzan velocidades de operación del orden de los 60 m/h. En función de su mecanismo de impulso, estas máquinas se dividen en: motoescrepas autocargables, motoescrepas estándar y motoescrepas de tiro y empuje. Enseguida se presentan algunos modelos y sus características particulares:

Motoescrepas autocargables. Son máquinas autónomas que no requieren del auxilio de otra máquina. Su campo de acción se limita a suelos de poca dureza.



Imagen 16: Motoescrepa autocargable

Motoescrapas estándar. Este tipo de máquina requiere del auxilio de un tractor, que le ayude a empujarla, con el fin de suministrar la potencia necesaria para poder realizar el trabajo de cortar y llenar la caja con el material excavado, ya que sólo tienen un motor.



Imagen 17: Motoescrapa estándar

Motoescrapas de tiro y empuje (push-pull). Máquina que requiere de la ayuda de otra motoescrapa para poder llevar a cabo el trabajo de cortar y elevar el material a su caja, cuando éste presenta cierta resistencia al ser extraído, no obstante que cuenta con dos motores.



Imagen 18: Motoescrepa de tiro y empuje.

3.3.2 MOTOCONFORMADORAS O MOTONIVELADORAS.

(Rendimiento aproximado= 130 m³/h)

Máquinas para la construcción, que cuentan con una larga hoja metálica (cuchilla), empleada para nivelar terrenos. Generalmente presentan tres ejes: la cabina y el motor se encuentran situados en la parte posterior, sobre los dos ejes tractores, y el tercer eje se localiza en la parte frontal de la máquina, en donde se localiza la hoja niveladora, entre el eje frontal y los dos ejes traseros.

Una de las características que dan gran versatilidad a esta máquina es que es capaz de realizar el refino de taludes con distintas inclinaciones.



Imagen 19: Motoniveladora, usada para llevar la superficie del terreno al nivel deseado.

3.3.3 EXCAVADORAS.

(Rendimiento aproximado= 130 m³/h)

Estas máquinas se emplean generalmente para realizar zanjas, cortes, formar taludes, para limpieza, y también para carga de camiones, entre otras labores.

Las excavadoras son máquinas grandes capaces de moverse por el terreno con facilidad; sin embargo es importante a la hora de elegir el equipo considerar su tamaño y peso. Por ejemplo, las excavadoras más pequeñas podrán moverse más fácilmente a través de áreas más pequeñas como los bosques. La mayoría de las excavadoras tienen la capacidad de moverse 360 grados, esto resulta

especialmente útil cuando el terreno es estrecho. Asimismo, si su peso es menor podrán ser capaces de atravesar terrenos más suaves.



Imagen 20: Excavadora de tamaño mediano.

Las partes que componen una excavadora son: el chasis o estructura portante, desplazable mediante cadenas o ruedas neumáticas; la corona de giro sirve de apoyo a la estructura sobre el chasis, permitiendo el giro de ésta mientras el chasis permanece fijo; la estructura contiene el cuerpo de la excavadora, dígame, motores, transmisiones, cabina, contrapeso, etc., el brazo y la cuchara o algún accesorio, como puede ser un rotomartillo.

3.3.4 CARGADOR FRONTAL.

(Rendimiento aproximado= 120 m³/h)

Esta unidad es utilizada para mover o cargar materiales. Tiene una función similar a la retroexcavadora, en cuanto a trabajo, la diferencia es que tiene mayor fuerza. Existen en el mercado dos tipos de cargadores, el de oruga y el de neumáticos: los de oruga tienen un mejor desempeño en terrenos con material inestable y los de neumáticos se usan para terrenos más estables.



Imagen 21: Cargador frontal, utilizado para trabajos que requieren mucha fuerza.

3.3.5 RETROEXCAVADORAS.

(Rendimiento aproximado= 110 m³/h)

Las retroexcavadoras son relativamente pequeñas y propulsadas por un motor diésel. Su equipo consta de tres piezas en una sola máquina: el tractor, que es

la principal parte de la retroexcavadora, permite a los usuarios moverse con facilidad en diferentes tipos de terrenos. El tractor tiene neumáticos especiales, y éstos sirven de apoyo en las zonas en que los demás vehículos pueden tener enorme dificultad de movimiento. Las retroexcavadoras en la parte posterior cuentan con un brazo hidráulico, similar al de una excavadora; también cuenta con una pala frontal, al igual que un cargador frontal. Las retroexcavadoras también se utilizan para tallar zanjas en la tierra, crear trincheras, y para eliminar los materiales de “desperdicio “de las obras.



Imagen 22: Retroexcavadora, máquina versátil para diferentes actividades en obra.

3.3.6 COMPACTADORES.

(Rendimiento aproximado= 200 m²/h)

Son máquinas, de gran peso, dotadas de uno o varios rodillos metálicos, o neumáticos, cuya función consiste en aplanar y dar la compactación requerida al material sobre el cual se desplaza.

Todos los compactadores son autopropulsados, y están provistos de rodillos inversores del sentido de la marcha, que funcionan con acción suave y están dotados de dispositivos para mantenerse húmedos, en caso necesario.

Los sistemas de compactación del suelo se han ido desarrollando y van ligados al tipo de material a compactar. Esta es la razón de la existencia de múltiples y diferentes equipos en el mercado, que se diferencian, más que en la energía de compactación suministrada, en la forma en que dicha energía es transmitida al terreno.

Los equipos de compactación se clasifican en dos tipos:

- *Los de presión estática o compactadores de "pata de cabra"*. Disponen de rodillos cilíndricos de acero, a los que se ha dotado de patas de apoyo puntuales, distribuidas uniformemente sobre la superficie del cilindro, cuyo efecto de compactación se debe a la alta presión que comunican al terreno.

Su uso queda restringido a la compactación de cimientos, o núcleos de terraplén, de materiales cohesivos sin piedra.



Imagen 23: Compactador tipo “pata de cabra”.

- Los *vibratorios* o *compactador vibratorio monocilíndrico*. Están compuestos por un cilindro metálico vibratorio liso (con o sin tracción), que actúa como elemento de compactación y dos neumáticos traseros de tracción.

Pueden usarse para la compactación de todo tipo de capas de cimiento, núcleo, explanada y firme; tienen una mejor adaptación a la compactación de suelos no cohesivos, donde el efecto de la vibración posibilita un mejor acomodo de los elementos granulares.



Imagen 24: Compactador monocilíndrico vibratorio.

Compactadores vibratorios bicilíndricos (o tándem). Están compuestos por dos cilindros metálicos vibratorios lisos (con tracción), que compactan las capas de suelo.

Pueden usarse para la densificación de todo tipo de capas de firme y/o explanadas bien graduadas.



Imagen 25: Compactador bicilíndrico vibratorio.

3.3.7 TRACTORES DE ORUGA (BULLDOZER).

(Rendimiento aproximado= 160 m³/h)

Este tipo de tractores tienen un uso variado. El trabajo de estos consiste en movimientos de tierra y corte. Cuentan con orugas para que le den un mejor agarre al suelo, mientras que con su cuchilla frontal mueven el material. Cabe mencionar que este tipo de máquinas cuenta con sistema hidráulico para una mejor y más rendidora operación y existen varios tamaños, para la aplicación que se requiera.

Además de los trabajos realizados por la cuchilla, al Bulldozer se le pueden añadir accesorios que aumenten su versatilidad.



Imagen 26: Tractor de oruga.

Dichos accesorios se describen a continuación:

- *Escarificador o ripper*. Especie de reja de arado, que se fija fuertemente en la parte posterior del Bulldozer y ejerce una acción de labrado, para disgregar terrenos compactos y rocas semiduras.
- *Stumper*. Pico corto que se acopla en vez de la cuchilla, utilizado para arranque de troncos, o para romper capas aisladas de roca dura.
- *Grúa lateral*. Accesorio que descansa en una lateral de chasis, y está provista de contrapeso y accionada por cabestrantes. El tractor se apoya en la cuchilla para aumentar la estabilidad.

3.3.8 EQUIPOS DE TERRACERÍA PEQUEÑOS.

Cuando los espacios donde se realizará la compactación de suelo es reducido; como lo sería una zanja, una zapata o una habitación, el equipo a utilizar se parece a la maquinaria antes descrita, pero con un menor tamaño.

Minicargador

(Rendimiento aproximado= 20 m³/h)

Esta es la máquina más utilizada para todo tipo de actividades en una construcción donde las vías de circulación son reducidas o la altura para

vehículos es restringida. Con ella se realizan las mismas actividades que, a gran escala, realizan el cargador frontal y la motoniveladora.



Imagen 27: Minicargador, máquina versátil y práctica.

Rodo de operación manual y “Bailarina”

(Rendimiento aproximado= 10 m³/h)

Estos rodos son operados con controles manuales, donde el operador camina a un lado de la máquina, tiene las mismas funciones que los rodos de mayor tamaño, utilizados en espacios abiertos. La “bailarina” por su parte, es utilizada en espacios donde no cabe ninguna otra máquina. Ambas máquinas son muy prácticas.



Imagen 28: Minicompactador, de 1 a 1.5 ton.



Imagen 29: "Bailarina"

3.3.9 CAMIONES.

Se utilizan para mover la arena, el suelo, la grava y la roca. Estos camiones ya figuran como parte de los mejores adelantos tecnológicos en el sector de la construcción.

Camión de volteo articulado. El camión de volteo articulado consiste en un camión con remolque, con un marco articulado y un componente trasero para la descarga. Los fabricantes típicamente ofrecen las configuraciones de transmisión 4X4, 6X6 ó 6X4.



Imagen 30: Camión de volteo articulado.

Camiones de volteo. Son camiones de carga, que nos ayudan a mover distintos materiales, dentro o fuera de la obra, a diferencia de los camiones articulados que generalmente sólo se mueven al interior de la obra. Los camiones de volteo adquieren su nombre, coloquialmente, en función de su capacidad de carga:

- *Rabón.* Este camión tiene una capacidad aproximada de 7 m³.



Imagen 31: Camión de volteo rabón.

- *Torton*. Estos son los más comúnmente utilizados y generalmente tienen una capacidad de 14 m³ ó 16 m³.



Imagen 32: Camión de volteo torton, de gran capacidad.

- *Góndola*. Estos son tractocamiones con una capacidad de hasta 30 m³.



Imagen 33: Góndola.

3.4 TERRAPLENES.

Los *terraplenes* son estructuras que se construyen para elevar el nivel de la carretera sobre el del terreno natural o alcanzar el nivel de desplante en las cimentaciones de una edificación, según el nivel estipulado en los planos del proyecto y la normativa técnica; por ejemplo, cuando se requiere mantener la pendiente de la carretera en regiones de lomerío y montañosas, o para evitar daños en la carretera provocados por agua que proviene de algún escurrimiento; estas estructuras también se emplean para los accesos a un puente o a una gran estructura de alcantarilla a fin de alcanzar la altura necesaria.

La sección transversal típica de un *terraplén* consta de una superficie horizontal plana con taludes a los lados, generalmente simétricos, que inician en la parte superior y terminan hasta su intersección con el terreno natural.

Las capas de las que constan las terracerías en una sección de *terraplén* son: el cuerpo de terraplén (que es la parte de la estructura que da la altura al terraplén), la capa subyacente (se emplea generalmente cuando el volumen de tránsito es superior a los 10 000 vehículos diarios), y la capa subrasante (es la que coincide con la línea subrasante); además es la capa de mayores especificaciones ya que, al estar en contacto directo con el pavimento, es la que recibe las cargas de tránsito transmitidas por éste. De igual forma esta capa debe garantizar la no contaminación del pavimento, así como la no absorción

del pavimento por las terracerías, también debe evitar que las imperfecciones en los cortes se reflejen en la superficie de la carretera.

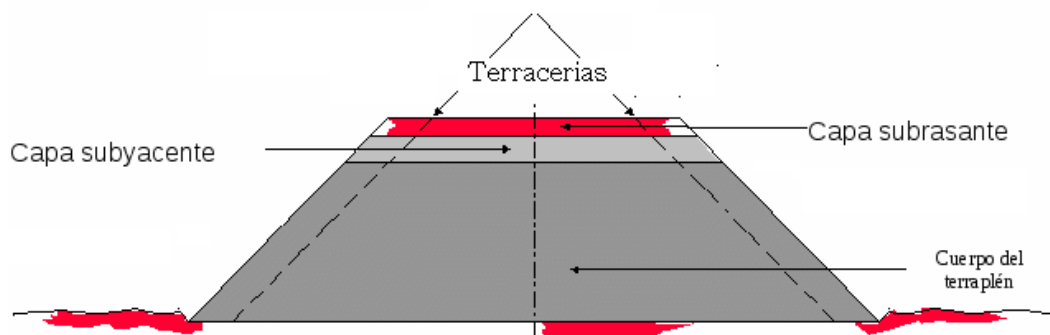


Imagen 34: Capas de un terraplén.



Imagen 35: Nivelación de un terraplén.

Para la construcción de terraplenes, la elección del procedimiento y equipo necesarios, será en función de la calidad y disposición de los materiales, así como de las características físicas del lugar.

La calidad de los materiales con los que se construirá un terraplén puede ser muy variada; sin embargo, la clasificación general para poder elegir el procedimiento y equipo más adecuados, depende de si el material es “compactable”, es decir, que se puede compactar a cierto grado de humedad; o “no compactable”, como son los materiales granulares, con partículas relativamente grandes que no tienden a adherirse como los fragmentos de roca.



Imagen 36: Formación de terraplén con material compactable.



Imagen 37: Formación de terraplén con material no compactable.

Los materiales que se utilizan en la construcción de terraplenes se seleccionan, usualmente, de acuerdo a lo establecido en las Normas ASTM o AASHTO, salvo que el diseño en el proyecto indique otra cosa.

Los materiales para la construcción del cuerpo del terraplén, la ampliación de la corona o el tendido de los taludes de terraplenes existentes, cuando procedan de cortes, pueden ser compactables o no compactables. Cuando provengan de bancos o se utilicen en la construcción de las capas subyacentes y subrasantes, siempre serán compactables.

Durante el proceso de construcción la Supervisión no debe aceptar el suministro y utilización de materiales que no cumplan con lo indicado en la norma seleccionada, aun cuando el Contratista prometa que estos serán mejorados posteriormente en el lugar de su utilización, ya que esto generalmente no se cumple, por lo que la terracería podría quedar deficiente.

Si en la ejecución del trabajo, los materiales presentan deficiencias respecto a las características establecidas, como se indica en la Norma, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista los corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

3.4.1 EQUIPO.

El equipo que se utilice para la construcción de terraplenes será el adecuado para el tipo de suelo seleccionado, para obtener la calidad especificada en el diseño, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por partida y ubicación, conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista de Obra su selección. Dicho equipo debe ser mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista.

3.4.2 TRABAJOS PREVIOS.

Antes de empezar a construir el terraplén o la base de las cimentaciones para un edificio, el área de desplante en ambos casos, debe estar bien delimitada. También es importante, antes de iniciar la construcción, que dicha área quede debidamente desmontada y despalmada. Cuando se encuentra material inaceptable en el área de desplante, éste debe ser sustituido por uno de mejor calidad que garantice la calidad de la estructura de tierra a construir.

Si la obra así lo requiere, los huecos resultantes del desmonte y despalme se rellenarán con material compactado; asimismo se compactará el terreno natural o el despalmado, en el área del desplante, con espesor mínimo de veinte centímetros (20 cm), a una compactación similar a la del terreno natural.



Imagen 38: Compactación del terreno natural que queda después del despalme.

3.4.3 EXTRACCIÓN DE MATERIALES.

La *extracción del material* que se seleccione para ser utilizado en la compactación de cimentaciones en la construcción, puede ser de un corte, de “préstamo lateral” o de “préstamo de banco”; para cada elemento deberá ser el tipo de suelo indicado en el diseño.

Los bancos de materiales son las excavaciones a cielo abierto destinadas a extraer material para la formación de cuerpos de terraplenes, cimentaciones en edificaciones y taludes.

Para realizar la *extracción del material*, generalmente se ocupa alguno de los siguientes procedimientos: extracción por medio de excavadoras, extracción por medio de tractores y cargadores, o extracción por motoescrepas.

En la siguiente imagen podemos observar la extracción por medio de excavadoras; en este procedimiento la excavadora extrae el material y lo carga directamente en camiones de volteo.



Imagen 39: Carga y acarreo de material de préstamo.

La próxima imagen muestra la combinación de tractores con cargadores frontales; en este procedimiento los tractores remueven el material, mientras los cargadores frontales cargan el material removido en camiones de volteo, para su traslado.



Imagen 40: Banco de préstamo, excavación y carga.

Por último, si el material a utilizar se encuentra en un sitio cercano, la extracción se puede llevar a cabo a través de motoescrepas.



Imagen 41: Material transportado desde un banco de préstamo cercano.

Uno de los factores que influye para decidir el procedimiento en la *extracción del material*, está en función de las condiciones físicas del lugar en el que se localiza el “préstamo”; por ejemplo, si el lugar es estrecho o elevado, tal vez sea conveniente usar la excavadora; aunque, si el lugar es amplio puede que la mejor opción sea la utilización de tractores y cargadores, lo que incrementará la capacidad de producción (Ver imagen 42); se puede observar cómo se utiliza el material de un corte para formar el terraplén. El corte se encuentra al fondo de la imagen y el terraplén es el sitio donde está descargando el camión de volteo.



Imagen 42: Corte y formación de terraplén.

3.4.4. CALIDAD DE LOS MATERIALES.

Como ya se ha mencionado los terraplenes están conformados por tres capas: cuerpo del terraplén, capa subyacente y capa subrasante, las cuales se distinguen una de otra esencialmente por la *calidad de los materiales* empleados en su construcción, así como su nivel de compactación. En la compactación de cimentaciones para edificios suele utilizarse limo, es el material preferido por los constructores.

Los Materiales para terraplén son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o extracción en bancos, que se utilizan para formar el cuerpo del terraplén hasta el nivel de desplante de la capa subyacente.

Los Materiales para la capa subyacente son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima del cuerpo de un terraplén.

Los Materiales para la capa subrasante son los suelos naturales, seleccionados o cribados, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima de la capa de los cortes, de la capa subyacente o del cuerpo del terraplén, cuando esta última no se construya para servir de desplante a un pavimento.”

En relación al lugar de almacenamiento para el material extraído de los bancos de préstamo, deberá ser en un sitio destinado específicamente para tal propósito, el cual deberá contar con una superficie firme, de no ser así, se deberá remover el material vegetal, limpiar, conformar, nivelar y compactar la superficie dejando una sección transversal uniforme, que permita el drenaje. En invierno se recomienda tapar el suelo con plástico, para evitar que este adquiera demasiada humedad, pues en la compactación no se puede utilizar si se encuentra excesivamente húmedo.

Con respecto al transporte del material, deberá hacerse en vehículos con cajas cerradas y protegidas con lonas, que impidan la contaminación del entorno o que se derramen.

3.4.5 TENDIDO Y CONFORMACION.

El *tendido, la conformación y compactación del suelo* generalmente se hace de forma similar en las diferentes capas. Cuando se trata de material “compactable” éste se tiende en capas sucesivas, horizontales, uniformes y relativamente delgadas (el espesor de la capa varía según la capacidad de la máquina compactadora) con la finalidad de tener una buena compactación en todo el espesor de éstas. Asimismo, se debe cuidar la formación de la sección transversal del terraplén. Por lo general los taludes de los terraplenes son tan pronunciados como lo soporte el material, a fin de reducir la cantidad de terraplenado.

Para el tendido y conformación del material se pueden usar diferentes procedimientos, por ejemplo:

Si el material se extrae de un lugar cercano, éste se puede transportar y tender directamente a través de bulldozers que empujan el material desde la zona de “préstamos” y lo tienden en el cuerpo del terraplén.



Imagen 43: Formación de terraplén.



Imagen 44: Tractor sobre orugas, tendiendo material para la conformación del cuerpo del terraplén.

Cuando el material se encuentra en algún sitio relativamente cercano, pero donde resulta ya poco práctico el uso de bulldozers, el traslado se hace a través de motoescrepas, estas máquinas son capaces de cargar, transportar y tender el material por sí solas, lo que hace muy atractivo su uso en la conformación del terraplén.



Imagen 45: Motoscrepa, nivelando la capa de suelo.

Ahora bien, si el material se trae de un sitio más lejano es indispensable el uso de camiones de volteo, que transportan el material desde los sitios de extracción, para después tirarlo directamente sobre la superficie de trabajo, posteriormente este material es tendido con la ayuda de motoconformadoras.



Imagen 46: Conformación de la capa subrasante, con motoniveladora.

OBSERVACIONES.

- a) El material proveniente de bancos de préstamo se descargará sobre la superficie donde se extenderá, en cantidad prefijada por estación de veinte (20) metros, en tramos que no sean mayores a los que, en un

turno de trabajo, se pueda tender, conformar y compactar o acomodar el material.

- b) En caso de material compactable, éste se preparará hasta alcanzar el contenido de agua de compactación que indique el diseño aprobado por el laboratorio de suelos; y obtener homogeneidad en granulometría y humedad, extendiéndolo parcialmente e incorporándole el agua necesaria para la compactación, por medio de riegos y mezclados sucesivos, o eliminando el agua excedente.

3.4.6 COMPACTACIÓN.

En la antigüedad los terraplenes solían construirse de una sola vez en toda su altura, mediante el vaciado directo de los camiones de volteo, no se hacían intentos por controlar el porcentaje de humedad ni para asegurar la consolidación del material, lo que ocasionaba que estos factores variaran mucho de un lugar a otro: esto originaba asentamientos diferenciales en las cimentaciones y en zonas adyacentes del camino.¹

Con el correr de los años se empezaron a implementar técnicas en las que los terraplenes se construían por capas delgadas y compactadas, a contenidos óptimos de humedad, lo que ayudaba a tener menores asentamientos. Dichas técnicas han sido sometidas a diferentes cambios; sin embargo el propósito de

¹ Un ejemplo muy famoso de asentamiento es LA TORRE DE PISA.

la compactación ha sido siempre el mismo, que los suelos se compacten por apisonamiento a porcentajes óptimos de humedad, para alcanzar el porcentaje de densidad máxima y así obtener ciertas ventajas: como el incremento de la resistencia al corte o estabilidad del suelo, la disminución de su permeabilidad y la minimización del asentamiento futuro del terraplén en sí mismo.

La selección de la maquinaria y procedimientos para la compactación depende en gran medida de las especificaciones de la capa en la que se vaya a trabajar y del tipo de material.

Hoy en día generalmente se usan los mismos procedimientos tanto en el cuerpo del terraplén, la capa subyacente y la capa subrasante. Lo primero que hay que hacer es utilizar el compactador “pata de cabra” para formar y consolidar cada una de las subcapas, y posteriormente afinarlas a través de compactadores cilíndricos vibratorios; todo esto se hace mientras que, con la ayuda de pipas, se agrega agua al material a fin de tener el porcentaje de humedad óptimo para alcanzar la compactación del proyecto. En cimentaciones (zapatas) para edificaciones, se ayuda a mantener la humedad óptima rociando el suelo manualmente desde un recipiente pequeño.

Con respecto al acomodo, como se menciona antes, se hace en material “no compactable”. Como este material es de grano grueso, el equipo que se utiliza es el rodo liso vibratorio, este, además de acomodar las partículas del suelo, va dejando la superficie nivelada y lista para la siguiente fase de la obra.

En las imágenes presentadas a continuación se puede apreciar diversos trabajos de compactación con los diferentes equipos, en las sucesivas capas del terraplén:



Imagen 47: Compactación del cuerpo del terraplén con rodo pata de cabra.



Imagen 48: Formación de la capa subyacente.



Imagen 49: Compactación de la capa subrasante.

OBSERVACION

La compactación se realiza longitudinalmente, de las orillas hacia el centro en las tangentes y del interior al exterior en las curvas, con un traslape de al menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada. El número de pasadas podrá ser ajustado en la obra y aprobado por la Supervisión, dependiendo del equipo que se utilice.

3.5 CORTES.

Los *cortes* son excavaciones que se hacen en el terreno natural cuando el nivel de éste se encuentra por encima de la cota de la línea subrasante o nivel de desplante; en esta actividad se busca rebajar la superficie del terreno natural hasta alcanzar el nivel de desplante indicado en el diseño.

La sección transversal de un corte generalmente consta de uno o dos taludes, que inician en su intersección con el terreno natural y bajan hasta alcanzar el nivel de desplante, formando en el fondo una superficie horizontal plana. La inclinación en los taludes va desde 0 en cortes realizados en roca firme, hasta de 2 a 1 en materiales inestables. Generalmente la inclinación de los taludes se da con base en la experiencia de los ingenieros especialistas en geotecnia; sin embargo, de ser preciso, se hacen estudios de mecánica de suelos a fin de recomendar los taludes más convenientes.



Imagen 50: Vista de un corte, donde se pueden observar los taludes y la superficie subrasante.

3.5.1 EQUIPO.

El equipo que se utilice para la realización de cortes debe ser el adecuado, según el tipo de material y la topografía de la superficie donde se realizará. El objetivo de emplear la maquinaria adecuada es obtener los materiales especificados en el diseño del proyecto, en cantidad suficiente para producir el volumen establecido en el programa de ejecución detallado por partida y ubicación; conforme al programa de utilización de maquinaria, siendo responsabilidad del Contratista su selección.

Como regla general, el equipo será mantenido en óptimas condiciones de operación durante el tiempo que dure la obra y será operado por personal capacitado. Si en la ejecución del trabajo, el equipo presenta deficiencias o no produce los resultados esperados, se suspenderá inmediatamente el trabajo hasta que el Contratista corrija las deficiencias, lo remplace o sustituya al operador. Los atrasos en el programa de ejecución, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al Contratista de Obra.

La maquinaria utilizada para realizar cortes se describe a continuación:

BARRENADORAS. De operación manual o mecanizada, con la versatilidad suficiente para que se adapten fácilmente al patrón de barrenación.

TRACTORES. Montados sobre orugas, reversibles, con la potencia y capacidad compatibles con el frente de trabajo.

MOTOESCREPAS. Autopropulsadas, reversibles y autocargables, con capacidad de ocho coma cuatro (8,4) metros cúbicos como mínimo.

CARGADORES FRONTALES. Autopropulsados y reversibles, de llantas o sobre orugas, con la potencia y capacidad compatibles con el frente de trabajo, para la excavación y carga de los materiales producto del corte.

Los cortes se ejecutarán de acuerdo con los límites del proyecto, indicados en el diseño, y sin alterar las áreas aledañas a la construcción. Dichos cortes se ejecutarán de manera que se permita el drenaje natural del terreno y con el talud establecido en el diseño del proyecto. En caso de que los materiales de los taludes resulten fragmentados o la superficie irregular o inestable, dicho material será removido.

Cuando se requiera el uso de explosivos, se evitará aflojar el material de los taludes más allá de la superficie teórica establecida en el diseño del proyecto.

Si los materiales producto del corte, son de buena calidad y aprobados por la Supervisión, se utilizarán para construir terraplenes o alguna otra partida de provecho para el proyecto; si fuere factible también se pueden utilizar en la reducción de la inclinación de los taludes. Los materiales provenientes de derrumbes o deslizamientos recientes se retirarán del sitio de la obra para aprovecharse en el abatimiento de taludes o se depositarán, al igual que el material sobrante de los cortes, en el sitio y forma que se indique en el proyecto o apruebe la Supervisión; para evitar alteraciones al paisaje, contaminación a

cuerpos de agua, favorecer el desarrollo de vegetación así como para no obstaculizar el drenaje natural.

TRABAJOS PREVIOS: *EXCAVACION.*

Para realizar un corte en el terreno existen distintas técnicas, éstas generalmente dependen del tipo de material que se encuentre en el lugar donde se va a realizar el corte, lo que en ocasiones hace necesario que primero se realice una excavación, hasta alcanzar el nivel del material indicado en el diseño.

El material encontrado en un corte generalmente se clasifica en: roca firme, roca suelta o suelos blandos.

3.5.2 CORTES EN ROCA FIRME.

La *roca firme* casi siempre debe ser perforada y volada por medio de explosivos, y posteriormente cargada en camiones, con ayuda de excavadoras, que llevarán este material ya sea para la formación de un terraplén, o a un sitio cercano autorizado para tirar material de “desperdicio”.

Pasos a seguir para la realización de una voladura:

PASO 1. Con la ayuda de máquinas barrenadoras, se hacen varias perforaciones cilíndricas en la superficie del macizo a volar, llamadas barrenos, estos tendrán una distribución y un ángulo de inclinación previamente

diseñados, con el fin de producir el arranque, fragmentación y desplazamiento del macizo rocoso.



Imagen 51: Barrenación, para la colocación de explosivos.

PASO 2. Una vez listos los barrenos, los especialistas en explosivos rellenan las perforaciones con la cantidad de material explosivo necesaria para realizar la voladura. La cantidad de explosivos depende de la dureza del material.



Imagen 52: Colocación de explosivos en las perforaciones.



Imagen 53: Voladura con explosivos.

PASO 3. Posterior a la voladura, el material es cargado en camiones por excavadoras, que lo retiran del sitio para llevarlo al lugar dispuesto para recibirlo.



Imagen 54: Extracción del material de corte, después de la voladura.

PASO 4. Por último, después de retirar todo el material, se afinan los taludes del corte y se realiza limpieza para depositar los escombros que resulten del proceso de voladura efectuado, en un sitio apropiado; donde no obstruyan la ejecución de la obra ni afecten a terceros.

3.5.3 CORTES EN ROCA SUELTA.

Para realizar cortes en roca suelta generalmente se utilizan tractores equipados con grandes escarificadores, los cuales aflojan y rompen la roca completamente.



Imagen 55: Realización de excavación en roca suelta.

También se pueden usar excavadoras equipadas con rotomartillos para aflojar y romper el material.

Por último, el material es cargado en camiones para su disposición final, ya sea para la construcción de un terraplén, o como “desperdicio”.



Imagen 56: Acarreo de material, producto del corte en roca suelta.

3.5.4 CORTES EN SUELOS BLANDOS.

Los *cortes en suelos blandos* generalmente se hacen con la ayuda de excavadoras, las cuales extraen el material y lo cargan directamente en los camiones para su disposición final. También se pueden utilizar bulldozers, que van desbastando el material con sus *rippers* y acumulando el material para su posterior carga. Es oportuno mencionar que en una obra pequeña se utilizan, más frecuentemente, los minicargadores; los cuales sirven como auxiliar en todo tipo de obras de terracería.

A continuación, se muestran imágenes de dos procedimientos:



Imagen 57: Formación de corte, utilizando excavadora.



Imagen 58: Formación de corte, utilizando bulldozers.

3.5.5 CAPA SUBRASANTE EN CORTES.

La capa subrasante es la única que se coloca tanto en terraplenes como en cortes. Las especificaciones técnicas son las mismas que ya se observaron cuando describimos esta capa en los terraplenes.

Primero el material se tiende y conforma con la ayuda de tractores, de motoescrapas, de camiones y de motoconformadoras, para posteriormente ser consolidado con compactadores “pata de cabra” y finalmente ser afinado con rodillos vibratorios. Es de suma importancia evitar que las imperfecciones de los cortes se transmitan o contaminen el pavimento.

En ocasiones el material resultante del corte es adecuado para formar la capa subrasante, lo que ahorra el acarreo de material de otro sitio; cuando esto sucede se escarifica 15 cm del material, se humedece y se compacta, según lo marquen las especificaciones técnicas.



Imagen 59: Tendido de capa subrasante en corte.

3.6 ESTABILIZACIÓN DE TALUDES.

3.6.1 RECUBRIMIENTO DE TALUDES.

El recubrimiento de taludes es el conjunto de trabajos que tiene el objetivo de proteger de la erosión al material que forma dichos taludes ya sea que estos se encuentren en cortes o terraplenes. Los recubrimientos más comunes son:

- a) Siembra de especies vegetales.
- b) Mallas vegetales.
- c) Mallas geosintéticas.
- d) Mallas metálicas.
- e) Riego asfáltico.
- f) Zampeado.

La *siembra de especies vegetales* consiste en sembrar directamente sobre el talud plantas apropiadas al clima y condiciones del lugar para que éstas enraícen y se expandan en el talud, a fin de darle estabilidad a éste. Esta técnica generalmente se emplea cuando el talud está constituido por material orgánico.



Imagen 60: Protección de talud utilizando césped.

Las *mallas* se deben colocar en lienzos o tramos adecuados a las dimensiones del talud, siguiendo el contorno de éste. Dichas *mallas* se deben fijar de tal manera que se evite al máximo su desplazamiento, para su fijación se pueden utilizar: clavos de impacto y anclas largas o cortas, según sea el caso; las *mallas* se deben traslapar de forma adecuada, como se necesite.



Imagen 61: Malla vegetal.



Imagen 62: Malla geosintética.



Imagen 63: Protección de talud con malla metálica.

El *riego asfáltico* consiste en aplicar sobre el talud una emulsión asfáltica, con el fin de dar cohesión al material del cual está constituido el talud.



Imagen 64: riego asfáltico para protección de taludes.

El ***zampeado*** consiste en construir sobre el terraplén una capa que ayude a evitar la erosión del material debido a la intemperie.



Imagen 65: Zampeado para protección de taludes.

El **arroje de taludes** consiste en recubrirlos con material producto del corte a fin de darle una mayor estabilidad a estos.

Habitualmente este procedimiento se realiza con la ayuda de bulldozers, que empujan y esparcen el material sobre la superficie del talud.



Imagen 66: Arroje de taludes con material producto del despalme.

3.6.2 BERMAS.

Las *bermas* son escalones que se hacen en los taludes de los cortes y terraplenes, a fin de mejorar su estabilidad.

Las *bermas* en cortes se hacen escalonando los taludes, de acuerdo con las dimensiones requeridas de espacio y estabilidad.

Las *bermas* en terraplenes se forman comenzando el primer escalón por el pie del talud extendiendo y compactando el material hasta alcanzar la estabilidad necesaria para formar el siguiente escalón.



Imagen 67: Talud estabilizado con bermas.

3.6.3 CONCRETO LANZADO.

El concreto lanzado es una mezcla de cemento Portland, agregados pétreos, agua, aditivos y fibras en algunas ocasiones, que mediante la fuerza controlada de aire a presión, a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea, y resistente, para proteger superficies de roca o suelo contra erosión, proveer soporte temporal o definitivo a una excavación y proteger zonas con alto fracturamiento.



Imagen 68: Aplicación de concreto lanzado.

3.6.4 MUROS DE CONTENCIÓN.

Los *muros de contención* son estructuras que ayudan a evitar deslizamientos en los taludes, se emplean generalmente cuando se construyen terraplenes muy altos, cuando nos encontramos con algún obstáculo que nos impida desplantar el terraplén en su totalidad, o cuando debemos delimitar claramente el desplante. Los muros de contención también se emplean para proteger la carretera cuando tenemos deslizamientos fuertes en los cortes.

Los *muros de contención* pueden ser construidos de mampostería, concreto reforzado o de gaviones.

Los gaviones son elementos en forma de prisma rectangular, los cuales se construyen formando una caja de malla triple torsión de acero galvanizado; ésta

puede tener varios paneles, generalmente en forma de cubo; posterior a su construcción, la caja se rellena de piedras. Los gaviones pueden fabricarse de diferentes dimensiones, aunque habitualmente se construyen de 1 m de alto X 1 m de profundidad y 2 m ó 3 m de largo.



Imagen 69: Muro de gaviones.

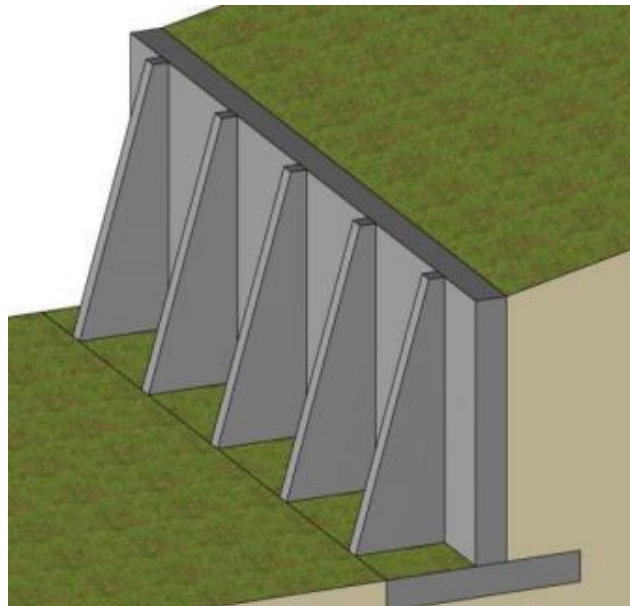


Imagen 70: Muro de concreto reforzado.

3.6.5 OTROS CASOS.

Terraplenes reforzados son estructuras que se construyen con materiales producto de cortes o procedentes de bancos, con el fin de obtener el nivel de la subrasante que indique el plano de diseño, adicionándole al cero del terraplén elementos transversales, metálicos, plásticos o de otro material, que le proporcionan al suelo la capacidad de resistir esfuerzos de tensión, permitiendo la obtención de taludes menos tendidos que los que se podrían lograr sin elementos estructurales de contención, formando un muro de contención con el suelo y su refuerzo. La técnica que más se emplea es la conocida como “tierra armada”.

La “tierra armada” es una técnica donde se confina el terraplén con escamas prefabricadas, que son planchas de concreto, las cuales se colocan a uno o ambos lados del terraplén y van sujetándose con flejes de acero o plástico que quedan confinados en el terraplén, estos flejes quedan sujetos a través de la cohesión del material.

Los terraplenes de tierra armada se construyen por nivel, se coloca una fila de escamas, la cual forma una especie de cajón y se rellena con material que se compacta en cuanto se alcanza el nivel de las escamas. Una vez compactada la primera capa se coloca un armado de acero y se coloca la siguiente hilera de escamas, y así sucesivamente, hasta alcanzar la altura deseada.



Imagen 71: Vista de armado en estructura, a base de tierra armada.

3.7 TÚNELES.

Los *túneles* son estructuras subterráneas que se utilizan para librar obstáculos geológicos y así permitir la continuidad del trazo de la carretera o edificación que se vaya a construir. Los túneles se pueden construir excavando manualmente o con máquinas. Hoy en día los sistemas manuales han entrado en desuso debido al tiempo y los riesgos que esto implica, por lo que se emplean con más frecuencia voladuras con explosivos y métodos mecánicos.

En la práctica suelen usarse tres métodos diferentes en la excavación de *túneles*, así como diferentes técnicas de estabilización. Los métodos de

excavación son: con explosivos, con máquinas perforadoras de frente pleno en roca y con escudo en suelos.

Excavación con explosivos.

Los túneles excavados con explosivos son aquellas obras que se construyen para permitir la continuidad del tránsito a través de obstáculos, ejecutadas mediante barrenación y voladuras. Este método está basado en el uso de explosivos para el rompimiento generalmente de roca, en el frente de avance de la excavación.”



Imagen 72: Máquina barrenadora, colocación de explosivos en túneles.

Excavación con máquinas perforadoras.

Los túneles excavados mediante máquinas perforadoras mecánicas, son aquellas obras que se construyen para permitir la continuidad del tránsito a través de obstáculos, ejecutadas mediante máquinas capaces de excavar en

toda la superficie del frente de avance. La excavación se realiza mediante la trituración de la roca por acción mecánica de un cabezal giratorio equipado con cortadores de alta resistencia al desgaste y el impulso de sistemas hidráulicos que se apoyan directamente sobre las paredes de la cavidad o, bien, en el sistema de soporte que es colocado por el propio equipo.



Imagen 73: Máquina excavadora de túneles.

Excavación con escudo en suelos.

Los túneles excavados mediante escudos son aquellas obras que se construyen para permitir la continuidad del tránsito a través de obstáculos, ejecutados mediante máquinas provistas de una camisa cilíndrica metálica, cuyo propósito fundamental es proporcionar al subsuelo un confinamiento temporal en el intervalo entre las operaciones de corte y de colocación del

sistema primario; se utiliza generalmente en terrenos inestables o con tiempo de autosoporte muy bajo.”

Los escudos son máquinas tuneladoras muy avanzadas, que se utilizan en suelos o rocas blandas, capaces de realizar la excavación y colocar sistemáticamente una estructura que sirve de soporte, a la vez que desalojan el material producto de la excavación. Los escudos realizan la excavación mediante una cabeza giratoria equipada con elementos de corte y accionada por motores hidráulicos; cuentan con una carcasa metálica que sostiene provisionalmente el terreno, desde el frente de avance, hasta algo más allá, de donde se coloca la estructura de soporte definitivo, ésta estructura de soporte normalmente consta de anillos formados por siete dovelas que garantizan la estabilidad del túnel. Para desalojar el material arrancado, los escudos cuentan con una serie de aperturas por donde el material excavado pasa a una cámara situada tras la rueda de corte y desde donde se transporta a presión hacia el exterior.

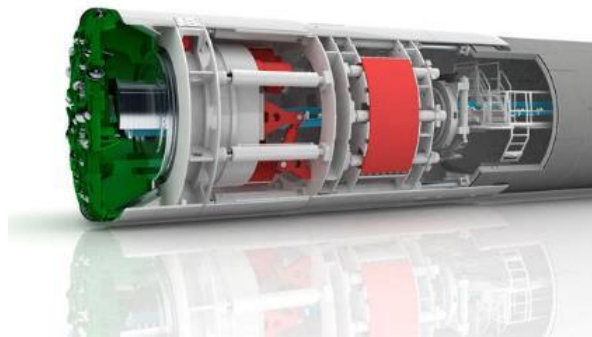


Imagen 74: Máquina tuneladora (sección interna).

3.8 OBRAS DE DRENAJE.

El agua es sin duda uno de los elementos de la naturaleza que más pueden llegar a afectar una carretera o las cimentaciones de un edificio, ya que ésta disminuye la resistencia de los suelos; y ello puede llegar a provocar fallas, tanto en terraplenes como en cortes.

Por lo anterior, y como complemento de las obras de terracería, resulta indispensable tratar sobre las obras de drenaje, cuya función es alejar lo más pronto posible el agua de la carretera o cimentaciones de una edificación.

En general al drenaje se le puede definir como el conjunto de obras que captan, conducen y alejan el agua del área de trabajo, a fin de evitar que esta sufra daños. Cuando llueve el agua toma diversos caminos, una parte escurre por la superficie, otra se infiltra en el subsuelo y otra parte se evapora. El agua que escurre superficialmente debe ser canalizada en forma adecuada, para posteriormente ser conducida y alejada de la obra. Con respecto al agua que escurre de forma subterránea, es necesario cortar su flujo o profundizar el nivel freático, pues al infiltrarse ésta en el subsuelo puede llegar a aflojar los taludes o las capas compactadas en el proceso de terracerías, lo que provocaría problemas de inestabilidad.

Cuando se va a construir, ya sea una carretera o un edificio, es necesario tener bien ubicados los posibles caminos del agua, pues con base en esos datos se determinan las obras de drenaje.

Las *obras de drenaje* se clasifican en dos tipos: *superficial* y *subterráneo*.

Drenaje superficial. Este a su vez se divide en longitudinal y transversal, según la posición que guarden con respecto al eje del camino.

Drenaje longitudinal. Es el que capta los escurrimientos, a fin de evitar que lleguen o permanezcan en el camino.

Drenaje transversal. Es el que permite el paso del agua de un lado a otro de la carretera. A su vez este drenaje se subdivide en “mayor” y “menor”, dependiendo de la dimensión de su claro. Se considera mayor cuando el claro es superior a los 6 m. Las *obras de drenaje mayor* son los “puentes” y las de *drenaje menor* las “alcantarillas”.

Drenaje subterráneo. En el *drenaje subterráneo* también encontramos tanto elementos longitudinales como transversales.

A continuación, se presenta una breve descripción de las diferentes obras de drenaje que se pueden utilizar, de acuerdo a la construcción que se esté realizando.

3.8.1 DRENAJE SUPERFICIAL.

Drenaje superficial longitudinal

Cunetas: son zanjas que se construyen adyacentes a los hombros de la corona en uno o en ambos lados, con el objeto de interceptar el agua que escurre

sobre la superficie de la corona, de los taludes de los cortes, o del terreno contiguo, conduciéndola a un sitio donde no haga daño a la carretera, a la edificación o a terceros. Generalmente las *cunetas* se colocan en secciones de corte, por lo que éstas se empiezan a construir una vez concluida la excavación. Las *cunetas* con sección triangular son las que más suelen construirse, ya que son las que menos molestias causan a los usuarios, en caso de caer en ellas; además su mantenimiento es muy sencillo.

La construcción de las *cunetas* es simple, primero se excava la zanja según las secciones, niveles y alineaciones determinados en el diseño; posteriormente, una vez que el material de las zanjas está debidamente conformado y compactado, las *cunetas* son revestidas; generalmente el *revestimiento* se hace con concreto hidráulico, aunque puede llegar a usarse alguna mezcla de suelo-cemento.



Imagen 75: Construcción de cuneta.

Contracunetas: son zanjas o bordos que se construyen en las laderas localizadas aguas arriba de los taludes de los cortes, con el objetivo de interceptar el agua que escurre sobre la superficie del terreno natural, conduciéndola a una parte baja del terreno, para evitar el saturamiento hidráulico de la cuneta y el deslave o erosión del corte. Según se indique en el diseño del proyecto, las zanjas pueden estar recubiertas o no y los bordos pueden ser de tierra, concreto o suelo-cemento.



Imagen 76: Contracunetas sucesivas, construidas en talud de corte.

Canales de encauzamiento. En terrenos planos, donde no existen causas definidos, pero sí existen escurrimientos torrenciales, es necesario construir *canales* que intercepten el agua antes de que llegue a la carretera o zona de las cimentaciones, y la lleven a algún sitio donde se construya una obra de captación para su posterior desalajo, lejos de la obra. Con relación al

revestimiento de los *canales*, éste puede ser elaborado de mampostería, suelo-cemento, concreto hidráulico, concreto lanzado, concreto asfáltico, especies vegetales o mayas vegetales o geosintéticas, a fin de protegerlo de la erosión.



Imagen 77: Canal de encauzamiento, construido en la base de un talud.

Bombeo: es la pendiente transversal que se le proporciona a la corona del camino. La pendiente va desde el centro del camino hasta los hombros y sirve para dar salida inmediata al agua que cae sobre el pavimento, para evitar encharcamientos y que el líquido penetre en las terracerías.

En las curvas del camino se da una sobreelevación en el hombro externo, a fin de dar salida al agua hacia el hombro interno. A esta sobreelevación se le conoce como “peralte”. La sobreelevación máxima es de 10 por ciento. El peralte ayuda a contrarrestar la fuerza centrífuga en los vehículos. El *bombeo* y

la sobreelevación se dejan al final de las obras de terracería, en el afinamiento de éstas, justo antes de empezar a colocar las capas del pavimento.

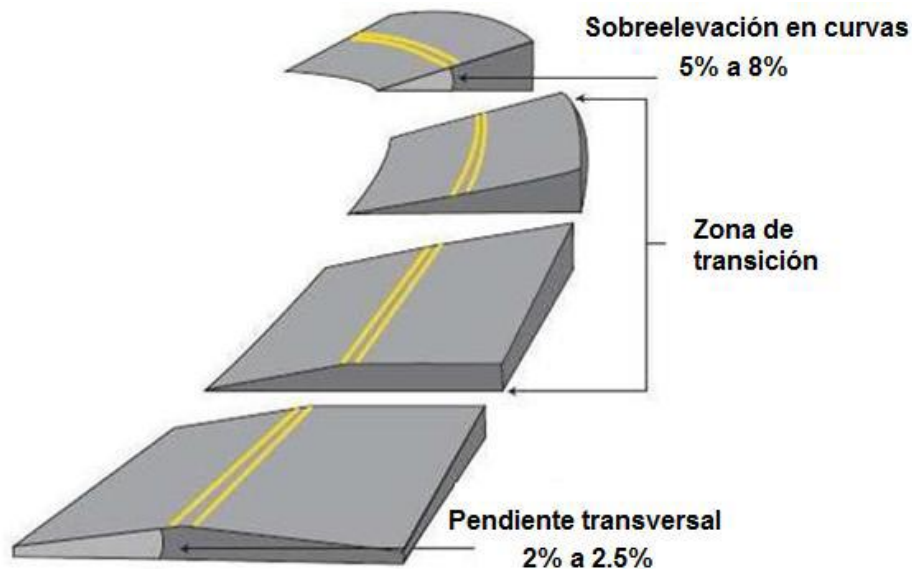


Imagen 78: Cortes transversales donde se aprecian las pendientes típicas del bombeo.

Alcantarillas: son estructuras que se encuentran alojadas en el cuerpo de las terracerías y ayudan a que el agua cruce de un lado al otro del camino, con el fin de conducir y desalojar el agua lo más rápidamente posible de las hondonadas y partes bajas de terreno.

Las *alcantarillas* tienen formas diversas y pueden estar hechas de diversos materiales, generalmente se clasifican en: tubos, bóvedas, losas sobre estribos y cajones.

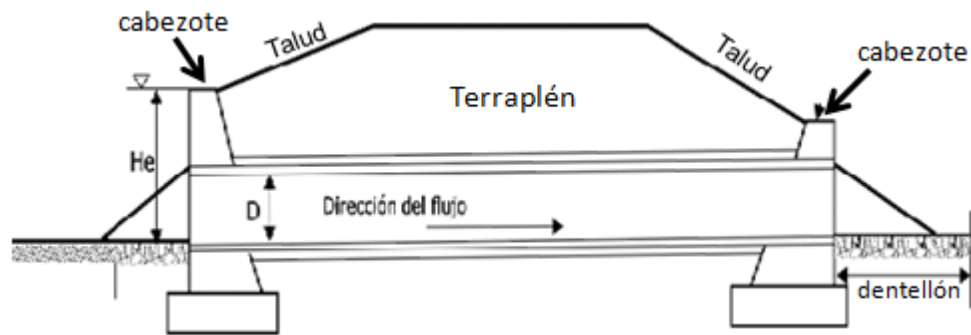


Imagen 79: Perfil de alcantarilla tubular.

A. TUBOS

Este tipo de alcantarillas pueden estar formadas por *tubos de concreto*, por *tubos corrugados de polietileno de alta densidad* o por *tubos corrugados de lámina*. En ambos casos se requiere que en la excavación se deje una holgura de 50 cm a cada lado de la tubería, para permitir la compactación del material de relleno, hasta una profundidad de 15 cm mayor a la de desplante de los *tubos*, para alojar una plantilla que sirva de apoyo; y de ser material suave, 20 cm adicionales, a fin de formar una capa de cimentación, la compactación del material de relleno se deberá hacer en capas de 15 cm.

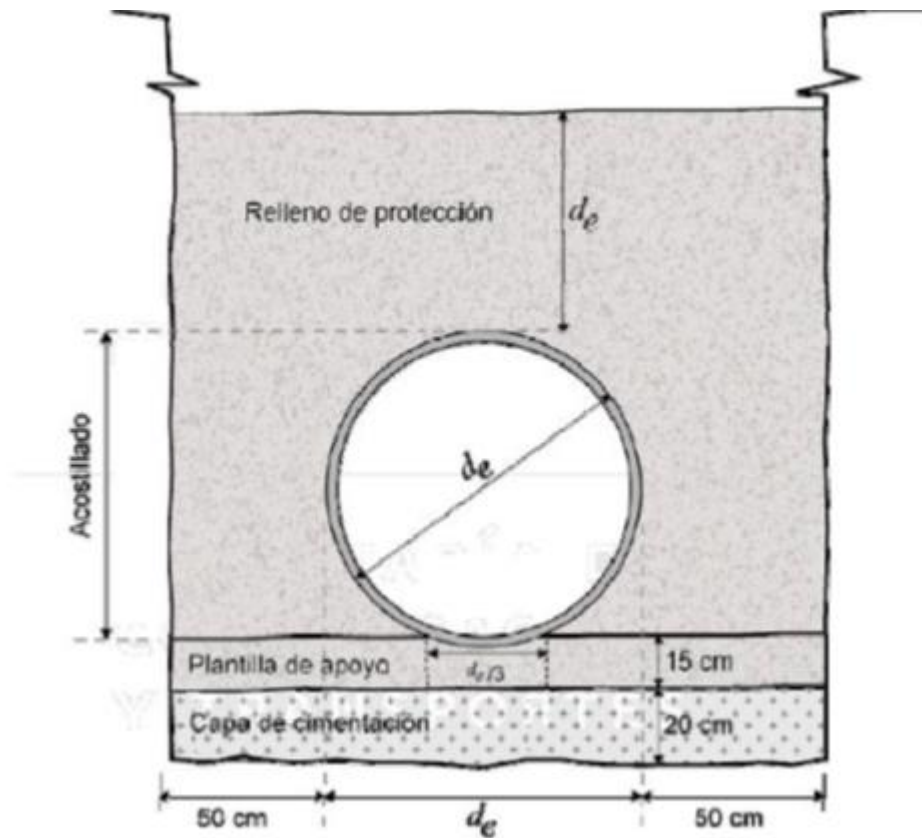


Imagen 80: Rellenos de excavación, donde se colocan los tubos.

Las alcantarillas tubulares de concreto son estructuras rígidas, que se construyen mediante tubos de concreto con o sin refuerzo, colocados sobre el terreno en una o varias líneas para dar paso libre al agua de un lado a otro de la vialidad. Según el terreno donde se construyan, pueden ser en zanja, en zanja con terraplén o en terraplén; según su ubicación se clasifican en normal o esviada.”



Imagen 81: Colocación de tubo en obra de drenaje.

B. BÓVEDA

Las alcantarillas en sección de *bóveda* son estructuras cuya sección transversal está formada por tres partes: el piso, dos paredes laterales y un arco en la parte superior.

Las *bóvedas* pueden ser construidas con mampostería o con concreto. Lo primero que se hace es construir una platilla, como base, para posteriormente construir las paredes laterales y por último se construye el techo que en esta sección tiene forma de arco. Para construir el arco se requiere utilizar un molde de madera sobre el cual se coloca el armado y posteriormente se realiza el colado, generalmente con la ayuda de bombas de concreto. En general, a la entrada y a la salida de la alcantarilla se colocan aleros, que facilitan el flujo del agua; asimismo se construyen dentellones de mampostería, con el fin de evitar

la erosión. Se pueden utilizar láminas corrugadas de acero para formar el arco, cuando nos encontramos con claros grandes.



Imagen 82: Aspecto general de la colocación de cimbra en la estructura de la bóveda.

C. ALCANTARILLA DE LOSA SOBRE ESTRIBOS

La *losa sobre estribos* son estructuras con sección rectangular, que se forman con la ayuda de dos muros de mampostería, o concreto armado, sobre los cuales se coloca una losa de concreto reforzado; los estribos de mampostería pueden ser cimentados con concreto reforzado cuando la resistencia del terreno es baja; al igual que en las bóvedas también se colocan aleros y dentellones a la salida y a la entrada.



Imagen 83: Armado del acero de refuerzo en la losa.

Drenaje superficial transversal mayor

Puentes. El *drenaje superficial transversal* es una estructura que ayuda a que los escurrimientos pasen de un lado a otro de la carretera. En el proyecto de construcción del drenaje, se determina realizar un *punte* en carretera, cuando se requieran librar grandes claros; asimismo cuando a su paso se encuentren ríos y barrancas o, bien, al cruce con alguna otra vía de comunicación, como otra carretera o una vía férrea.

Existe una gran variedad de *puentes*, su diseño generalmente depende del tipo de suelo, del tamaño del claro; del régimen de corriente, en el caso de los ríos, y de los factores económicos. A pesar de la gran variedad de tipos de *puentes*,

los más utilizados en carreteras son los *puentes sobre vigas*; aunque también se pueden encontrar *puentes atirantados*, entre los más comunes.



Imagen 84: Puente sobre vigas.



Imagen 85: Puente atirantado.

3.8.2 DRENAJE SUBTERRÁNEO.

Como se mencionó antes, la construcción de un *drenaje subterráneo* tiene como fin captar y conducir el agua que se filtra bajo la superficie, a fin de evitar que ésta cause erosiones que puedan aflojar los taludes.

Subdrenes: consisten en una red colectora de tuberías perforadas o ranuradas, alojadas en zanjas para permitir recolectar el agua subterránea, con objeto de controlarla y retirarla, minimizando su efecto negativo en las capas estructurales del pavimento o en las zapatas de un edificio; se clasifican en: longitudinales, cuando estos se colocan paralelos al eje de la carretera y, transversales, si se construyen perpendicularmente o esviajados.

Para la construcción de los *subdrenes* generalmente se utilizan tubos de concreto o pvc perforados, que se alojan en las zanjas que se rellenan con material permeable como la grava-arena, en su defecto, con fragmentos de roca no mayores de 15 cm.

Geodrenes: son sistemas de subdrenaje que utilizan geotextiles como filtro para dejar pasar el agua y evitar la migración de finos, minimizando su efecto negativo en la capas estructurales del pavimento o cimentaciones de un edificio; su objetivo es permitir la salida del agua para abatir el nivel freático y prevenir la tubificación o erosión del subsuelo, por lo que están forrados con geotextiles permeables.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES.

- La labor realizada por La supervisión es sumamente importante, por ello se deben consultar detenidamente todos los documentos relacionados con el proyecto que se va a supervisar.
- Es Imprescindible monitorear una a una las actividades del Contratista, de modo que se cumplan las especificaciones técnicas y contractuales establecidas.
- No existe una técnica única, relacionada con el proceso de obras de terracería. En este trabajo de investigación se menciona la técnica más utilizada, por su simpleza. Para proyectos de mayor complejidad se deberá diseñar una técnica apropiada, de acuerdo a las exigencias del entorno.
- La bibliografía relacionada con la construcción de obras de terracería es escasa y el tema se aborda de manera muy general, en ella, no se describen ni ejemplifican claramente los procedimientos constructivos que se emplean en dicha actividad.
- En las normativas técnicas (como la AASHTO y ASTM) se pueden encontrar descripciones precisas acerca de los ensayos de laboratorio y campo para el control de materiales, en la construcción; pero no se describen los procedimientos constructivos de terracerías, de modo que

se puedan utilizar como una guía de trabajo; además, es indispensable estar relacionado con el tema previamente para poder interpretar dicha normativa, ya que se hace uso frecuente de términos técnicos.

- Ilustrar los procedimientos utilizados en la construcción de terracerías, con imágenes de proyectos reales, ayuda a una comprensión más clara y precisa de cada una de las actividades a realizar en dichas obras.
- Es importante tener en cuenta que todas las actividades que se realizarán en la construcción de terracerías, siempre deben realizarse tomando en cuenta las leyes y normativa vigentes en el lugar.
- Los temas de Supervisión y Terracerías, se abordaron en base a los modelos más frecuentemente observados en campo. Dichos temas contiene en sí la esencia de este trabajo de investigación; sin embargo es importante aclarar que, a pesar de que se trató de describirlos y desarrollarlos lo más extensamente posible, solo se tomaron en cuenta los procedimientos más empleados, sin profundizar tanto en los detalles, ya que existe una gran variedad de técnicas, que para describirlas con precisión, serían necesario un documento en específico para cada una de ellas.
- Las obras de drenaje se abordaron de forma más general, siempre tratando de ser lo más descriptivos posible, en función de los objetivos que nos planteamos; sin embargo aunque no se profundizó en ellos, se

plantea la necesidad de realizar trabajos escritos específicos para profundizar en cada uno de los temas.

- En el desarrollo del presente trabajo de investigación se pone en evidencia la importancia de contar con documentos que aborden cada uno de los temas acerca de los procedimientos constructivos, de forma específica. Ellos constituirían una excelente guía de trabajo.

4.2 RECOMENDACIONES.

- Al iniciar los servicios de La Supervisión, estudiar a detalle el proyecto a desarrollar y recopilar toda la información necesaria para la correcta ejecución del mismo.
- Contar con la normativa más actualizada para verificar la correcta aplicación de las especificaciones que rigen cada una de las actividades a realizar.
- Llevar un control, por escrito, de las actividades realizadas; con las firmas respectivas de las personas responsables. Esto propicia que haya más cuidado, en la realización de cada actividad, por parte de las personas encargadas de la ejecución de la obra.
- Después de observar, cuidadosamente, las condiciones del sitio de la obra; verificar que, cuando el Contratista elija la maquinaria, esta sea idónea y que los diseños de mezclas de materiales (suelo natural, suelo-cemento y lodocreto) sean los que mejor se ajusten a la ejecución de cada actividad.
- Estudiar los diversos ensayos a realizar, a los materiales que se utilizarán en la construcción de las obras de terracería, para saber interpretar los resultados que se obtienen de estos. Con ello se estará en

la condición de garantizar que las diferentes etapas de la construcción de terracerías se han ejecutado con la precisión técnica requerida.

- Verificar que el trazo topográfico sea realizado por personal experto en el tema, ya que un error de planimetría o altimetría sería muy difícil (y a veces imposible) de corregir cuando la obra ya está muy avanzada o incluso terminada.
- Constatar que la maquinaria asignada al proyecto esté funcionando correctamente, de no ser así, la continua suspensión de labores debido al mantenimiento de dicha maquinaria podría generar retrasos considerables en la ejecución de cada actividad y con ello, de la obra en general.
- En muchos proyectos de construcción se acostumbra contratar al personal sin confirmar su competencia; por ello se hace necesario verificar que el personal técnico que labora en la obra, cuente con los conocimientos y destreza que exige cada una de las actividades a realizar.
- Construir, oportunamente, las obras de drenaje que el proyecto requiere; para evitar que las inundaciones dañen las cimentaciones y demás obras de terracería ejecutadas. Las obras de drenaje también ayudan a mantener en buenas condiciones los accesos al proyecto en construcción.

APENDICE.**ENSAYO DE DENSIDAD- MÉTODO, CONO Y ARENA.****NORMAS:**

ASTM D-1556 Y AASHTO T-191

GENERALIDADES

El método de compactación permite determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos y cuyas condiciones deben ser adoptadas en el momento de llevar a cabo las estructuras de suelos. La determinación de la densidad seca in-situ, realizada por el método de cono y arena, se lleva a cabo para verificar que las condiciones de compactación que se han fijado como optimas, se estén cumpliendo en el terreno. Si bien existen otros métodos para lograr tal fin como el balón de densidad o el método nuclear, el método más usado es el de cono y arena.

Como bien se conoce, el método se realiza en campo mediante una pequeña perforación de forma cilíndrica y cuya exactitud y dimensiones exactas dependen en gran medida del tipo de material. Gracias a la utilización del cono y arena, se puede conocer el volumen de dicha perforación y junto con el peso húmedo del material extraído es posible conocer la densidad húmeda del material. De esta manera y conociendo el contenido de humedad del material se puede determinar el valor de su densidad seca.

Los usos más comunes del método cono y arena son obras de construcción de terraplenes de tierra, rellenos de carretera y estructuras de relleno en zapatas para edificios.

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Contenido de Humedad de la muestra

- Densidad seca in-situ

- Porcentaje de compactación

PROCEDIMIENTO

El procedimiento para la determinación de la densidad de un suelo por el método cono y arena se lleva a cabo en dos etapas: campo y laboratorio. Del cuidado, la precisión y la técnica con la que se lleven a cabo cada una de ellas dependerá el resultado final del ensayo.

Procedimiento en campo:

- Es importante aclarar que una vez se esté en campo y el aparato de cono y arena este lleno hasta la válvula, el operario debe conocer este peso, el cual debió ser tomado previamente en el laboratorio.

- Determinar la zona específica donde se va a realizar el ensayo y preparar la superficie para que presente una condición plana y pueda hacer juego de la manera más precisa con la placa de base. Se debe tener especial cuidado en no cambiar las condiciones de la estructura de suelo en el momento de buscar que su superficie quede plana.

- Una vez se tenga una superficie plana se coloca la base metálica sobre el suelo y se verifica lo siguiente:
 - Que los bordes del orificio de la base metálica estén totalmente en contacto con el suelo, para evitar el flujo de arena por debajo de la placa.

 - Que la placa no se vaya a correr una vez se esté realizando el ensayo. Para esto cuando sea necesario se colocaran clavos en los extremos de la base metálica que impidan su movimiento.

- Haciendo uso del cincel y el martillo se lleva a cabo la excavación. A medida que se realiza la excavación, el material resultante se deposita en un recipiente o bolsa hermética que garantice que se conservara su humedad natural. Es importante que las paredes de la excavación no presenten irregularidades considerables con el fin de obtener resultados los más reales posibles.



Imagen 86: Muestra del agujero resultante después de la excavación.

A continuación, teniendo la válvula cerrada, se voltea boca-abajo el aparato cono y arena sobre la base metálica y se abre la válvula dejando fluir libremente la arena hasta que pare. Se cierra la válvula y se retira el aparato cono y arena.



Imagen 87: después de vaciar la arena y cerrar la válvula.

Se registra el peso del aparato cono y arena después de dejar fluir hasta parar y el peso del material excavado. Es necesario conocer el peso inicial del recipiente donde este va a ser almacenado.

Procedimiento de Laboratorio

- Una vez se hayan terminado las labores de campo, se procede en el laboratorio, a determinar el contenido de humedad del suelo resultante de la excavación.



Imagen 88: toma del peso húmedo y seco de la muestra extraída en la excavación.

CÁLCULOS

- **Volumen de excavación:** $V_e = (M_0 - M_1 - C_c) / \rho$

Dónde:

Ve: Volumen de la excavación Mo: Peso inicial de aparato cono y arena lleno

M1: Peso de aparato cono y arena después de dejar fluir hasta parar

Cc: Constante del cono

P (letra griega rho): Densidad de la arena

- Contenido de humedad del suelo: $W (\%) = [(W_h - W_s) / (W_s - W_r)] * 100$

Dónde:

W (%): Porcentaje de humedad del suelo

W_h: Peso húmedo de la muestra para humedad + recipiente

W_s: Peso seco de muestra para humedad + recipiente

W_r: Peso del recipiente

- Masa Seca del Suelo: $W_{seco} = (W_h) / (1 + w)$

Dónde:

W_{seco}: peso seco del suelo de excavación

W_h: peso húmedo del suelo de excavación

w: Contenido de humedad

- Densidad Seca In-Situ: $\rho = (W_{seco}) / V_e$

Dónde:

ρ: Densidad seca in-situ

W_{seco}: Peso seco del suelo de excavación

V_e: Volumen de la excavación

- **Porcentaje de Compactación:** $\% C = \left[\frac{\rho}{\rho_{max}} \right] * 100$

Dónde: %C: Porcentaje de compactación ρ : Densidad Seca in-situ

ρ_{max} : Densidad Seca máxima en laboratorio

EQUIPO



1.- Recipiente de arena

2.- Válvula de paso

3.- Embudo

4.-Placa base

5.- Martillo

6.- Cincel y espátula

7.- Brocha de cerdas finas

8.- Cinta métrica

9.- Cápsula para humedad

ENSAYO DE DENSIDAD- MÉTODO, DENSÍMETRO NUCLEAR.

NORMAS:

AASHTO T-310 Y ASTM D-2922

GENERALIDADES

El método del densímetro nuclear es un método preciso, rápido y eficaz. El proceso se realiza por medio de un aparato electrónico, el cual es capaz de medir directamente en el sitio la densidad y humedad del suelo, agregados y asfaltos; por medio de la atenuación de radiaciones gamma donde la fuente y el detector permanecen en la superficie; o la fuente o el detector es colocado a una profundidad conocida aproximadamente 300 mm (12”), mientras el detector o fuente permanece en la superficie dependiendo del método de ejecución.

La determinación de la densidad en la masa por unidad de volumen del material bajo ensayo es calculada por medio de la comparación de la tasa detectada de radiación gamma con información calibrada establecida anteriormente.

El método se basa en que la cantidad de electrones presente por unidad de volumen en el suelo es proporcional a la densidad del mismo. Por lo tanto se puede correlacionar el número de rayos gamma dispersos con el número de rayos detectados por unidad de tiempo, el cual es inversamente proporcional a la densidad húmeda del material. La lectura de la intensidad de la radiación es

convertida a medida de densidad húmeda por medio de curvas de calibración del mismo equipo con que se realizó el ensayo.

El método del densímetro nuclear también cubre la determinación del contenido de humedad del suelo y agregados por medio de la termalización o por medio de alentar los neutrones rápidos donde la fuente de neutrones y el detector termal neutrón, ambos permanecen en la superficie. El contenido de agua en masa por unidad de volumen del material se determina comparando la tasa de detección de la termalización o el alentar los neutrones con la información calibrada establecida anteriormente.

OBJETIVO

Este método de ensayo tiene como propósito obtener datos por medio de los cuales se puedan determinar las siguientes constantes de los suelos:

- Contenido de Humedad de la muestra
- Densidad seca in-situ
- Porcentaje de compactación

PROCEDIMIENTO

Para la aplicación y ejecución de este método se siguen los siguientes pasos:

- Se selecciona la ubicación; si el densímetro se encuentra en una distancia menor de 250 mm (10") de cualquier proyección vertical que

pueda influir en el resultado como una zanja o una tubería, se debe seguir el proceso de corrección de fábrica para el equipo.

- Se remueve todo el material disperso o que puede interferir con el ensayo. Se remueve el material hasta llegar al material que verdaderamente representa una muestra valida de la zona.
- Se debe aplanar así como raspar el suelo para llegar a una superficie horizontal lisa y obtener el máximo contacto entre el densímetro y el material a ser ensayado. La colocación del densímetro en la superficie del material a ser ensayado es crucial para el éxito de la determinación de densidad utilizando el tipo de medición de retro-dispersión. La condición óptima en todos los casos es el contacto total entre la superficie inferior del densímetro y la superficie del material que se ensaya.

Existen 3 principales métodos de medición no destructivos para la determinación de la densidad por medio del densímetro nuclear, los cuales se presentan a continuación:

Retro-dispersión. La medición no destructiva de la densidad por la retro-dispersión, es una medición rápida y eficaz, se basa en que las emisiones gamma y los detectores permanecen dentro del densímetro, que se coloca lo

más pegado posible sobre la superficie de una muestra válida de representación del material de ensayo.

Las emisiones gamma penetran el material a ser ensayado, las cuales a su vez son recibidas por los detectores los cuales las cuantifican. El método de retrodispersión es usado principalmente en capas delgadas asfálticas y capas delgadas de concreto hidráulico, en la siguiente figura se representa como se transmiten las emisiones gamma por este método.



Imagen 89: Determinación de la densidad por retro-dispersión.

Transmisión directa. El método de medición de transmisión directa es el más riesgoso debido a que la fuente radiactiva sale del aparato. Mediante una varilla de perforación se realiza un orificio de acceso de una profundidad y alineación

tal que se asegure que la inserción de la fuente gamma no se ladee con respecto al plano del área preparada para el ensayo. La profundidad del orificio debe ser mayor que la profundidad de donde se colocará la fuente.

De este modo las emisiones gamma se transmiten a través del material de ensayo hacia los detectores dentro del densímetro. El método minimiza la incertidumbre causada por las superficies rugosas y la composición química del material, logrando así un alto grado de exactitud. La transmisión directa es utilizada para la supervisión de capas de espesor medio a grueso de suelos, agregados, capas asfálticas y losas de concreto. Para la correcta ejecución de la medición se toman en cuenta las siguientes consideraciones específicas que optimizan la utilización del método y aseguran la exactitud de los resultados:

- Se coloca el densímetro en la superficie del suelo, cuidadosamente se alinea de manera que la sonda este directamente sobre el orificio preformado. Posteriormente se inserta la sonda en el orificio.
- El densímetro se debe asentar firmemente rotándolo sobre la sonda. Cuidadosamente se jala el densímetro en la dirección que traerá el lado de la sonda en contra del lado del agujero que está más cerca de la localidad del detector (fuente).
- Se aleja todo tipo de fuente radioactiva del densímetro para evitar afectar la medición.

- Posteriormente se realizan y guardan uno o más lecturas del periodo normal de medición.
- Por último se determina la tasa de la lectura de la cuenta estándar. De esta tasa y la apropiada calibración y ajustes de datos, se determina la densidad de campo.

A continuación se presenta una ejemplificación de cómo se transmiten las emisiones gamma por el método de transmisión directa.



Imagen 90: Determinación de la densidad por medio de transmisión directa.

Colchón de aire. El método de colchón de aire es diferente respecto de los otros métodos debido a que en este caso el densímetro nuclear no tiene un contacto directo con la superficie del suelo a ensayar, este es colocado sobre unos soportes los cuales crean un espacio vacío, es decir, el colchón de aire. Este método requiere además de la toma de una o más lecturas en la posición de retrodispersión para la comprobación de las mediciones, lo cual lo hace un método poco eficiente y bastante lento. Se muestra en la siguiente figura, como se coloca el aparato y la dirección de las emisiones gamma.

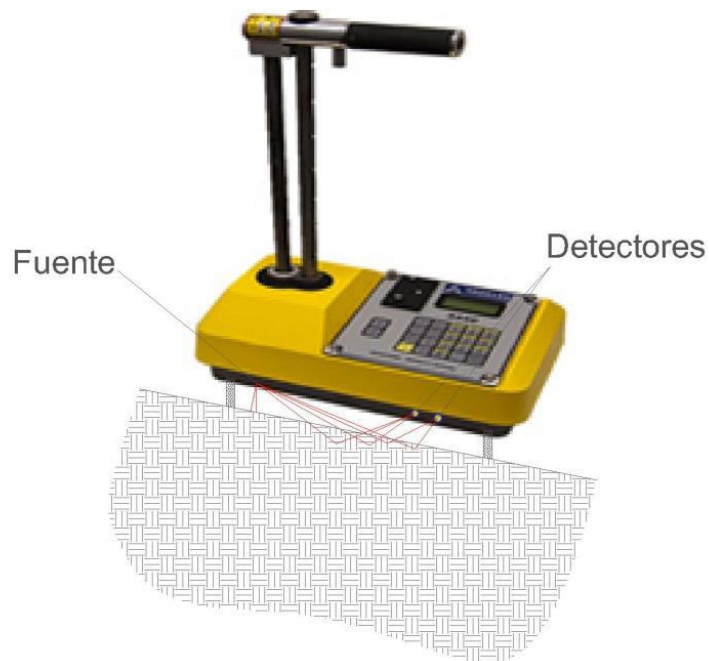


Imagen 91: Determinación de la densidad mediante colchón de aire.

Humedad. Para el caso de la determinación de la humedad del suelo por medio del método no destructivo del densímetro nuclear, la fuente de neutrones y el detector deben de estar dentro del densímetro y sobre la superficie del suelo de

ensayo. Las emisiones de neutrones a alta velocidad se introducen en la capa de material evaluada y se detienen parcialmente por colisiones contra los átomos de hidrógeno dentro del material, el detector de helio dentro del densímetro determina la cantidad de neutrones termalizados, que se correlaciona directamente con la cantidad de humedad en el material.



Imagen 92: Determinación de la humedad del suelo.

EQUIPO

Es un equipo que se basa en la emisión de rayos gamma mediante fuentes de elementos radioactivos, existen distintos modelos a elección, a continuación se presentan los elementos de un modelo estándar.

El equipo del densímetro nuclear se compone principalmente de los siguientes componentes:

Densímetro nuclear:



Imagen 93: Densímetro nuclear estándar.

Es un instrumento de conteo electrónico, capaz de ser colocado en la superficie de material bajo ensayo y realizar conteos a través de emisiones gamma, el cual contiene:

- Una fuente sellada de alta radiación de energía gamma la cual puede ser cesio o radio.
- Detector Gamma: cualquier tipo de detector gamma como pueden ser los tubos Geiger-Mueller.
- Bloque de referencia estándar: un bloque de material utilizado para el chequeo de la operación del densímetro y para establecer condiciones para una referencia de reproducción del ensayo.
- Aparato de preparación del sitio: un plato, regla o cualquier instrumento de nivelación adecuado el cual puede ser usado para aplanar el sitio del ensayo, y en el método de transmisión directa, guiar la unidad de perforación para preparar el agujero perpendicular.
- Varilla guía de perforación: es una varilla de un diámetro mayor a la carilla del instrumento para la medición de transmisión directa, utilizada para preparar un agujero en el material bajo ensayo.
- Extractor de la varilla de perforación: es una herramienta que se utiliza para remover la varilla guía de perforación en una dirección vertical para que la varilla no dañe el agujero durante la extracción.
- Dos cargadores adaptadores: es un adaptador para CC (12VCC) y el otro para CA (115/230 VCA 50/60 Hz.).

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

ASEGURAMIENTO DE CALIDAD.

Conjunto de acciones de planeación, organización y CONTROL tendientes a asegurar la CALIDAD de la OBRA en todos sus aspectos; incluyendo el CONTROL DE CALIDAD, pero pone énfasis en las acciones preventivas; es responsabilidad, primariamente del CONSTRUCTOR.

BITÁCORA DE OBRA.

Libro oficial y legal que servirá como instrumento de comunicación entre el Supervisor y el Contratista, en el cual se asentarán los hechos y asuntos sobresalientes que en alguna forma afecten al proyecto en la misma ejecución de la obra.

CALIDAD.

Cumplimiento cabal de NORMAS y requisitos preestablecidos.

CLIENTE.

Persona física o moral, EMPRESA, DEPENDENCIA o ENTIDAD, que emprende un proyecto con fines propios, y usualmente realiza la inversión correspondiente.

CONCEPTO DE TRABAJO.

Descripción del Conjunto de operaciones y materiales que, de acuerdo con las normas y especificaciones respectivas, integran cada una de las partes en que se divide convencionalmente una obra con fines de medición y pago.

CONTRATISTA.

Persona física o moral responsable de la ejecución de la obra, de acuerdo a las disposiciones contractuales establecidas por el Cliente.

CONTROL DE CALIDAD.

Acciones programadas y sistemáticas de control de materiales, herramientas, equipos, procesos constructivos o de manufacturas y calificación de personal, que el Contratista lleva a cabo, para un laboratorio a fin de verificar y garantizar el cumplimiento de la calidad pactada contractualmente, con apoyo en los servicios de su propio laboratorio de pruebas o en el de sus proveedores.

DISEÑADOR O PROYECTISTA.

Consultor que mediante contrato asume la responsabilidad de realizar el diseño de una OBRA, o de parte de ella, expresado en planos ESPECIFICACIONES y otros documentos técnicos requeridos para la CONSTRUCCIÓN.

ESTIMACIÓN.

Documento (o proceso de formulación del mismo) en que se valuará los trabajos ejecutados en determinado período, aplicando los precios unitarios de los conceptos de trabajo pactado durante dicho período o el porcentaje del precio alzado pactado correspondientemente al avance de cada unidad de obra o de la obra. Por extensión, el documento en el que se consigan las valuaciones antes mencionadas para efecto de pago.

FINIQUITO.

Recepción de la obra contratada y presentación de la documentación requerida por el Cliente.

INFORME DE OBRA.

Documento que contendrá la información necesaria para comunicar al Cliente el estado que guardan los trabajos, así como las situaciones que se hubieren presentado o se presuma que se presentarán durante el desarrollo de los mismos, y las alternativas de solución a problemas específicos.

LABORATORIO.

Organismo auxiliar de la Supervisión que se encargará de verificar, analizar y calificar, antes de la ejecución de una obra, durante su ejecución o al finalizar ésta, encargado de realizar, en condiciones normalizadas, las PRUEBAS de

materiales naturales o elaborados en fábrica o en OBRA, y de elementos de ésta, a fin de verificar su comportamiento y su apego a las NORMAS y ESPECIFICACIONES del proyecto.

LA SUPERVISION DE OBRA.

Persona física o moral contratada por el Cliente, para efectuar la verificación técnica, control y revisión de la ejecución de la obra, con apego al proyecto, en sus aspectos de calidad, presupuestario, programación y seguridad.

MUESTREO.

Obtención de muestras de algún material, de acuerdo con el procedimiento estipulado en las NORMAS o ESPECIFICACIONES.

NORMAS DE SUPERVISION.

Conjunto de disposiciones y requisitos generales establecidos por la Supervisión y por el Cliente, que deben aplicarse a la realización de actividades de verificación técnica, control y revisión de la ejecución de la obra.

PROGRAMA.

Documento en que se establece el orden y los plazos de ejecución de las diversas fases y conceptos en que se divide convencionalmente un servicio, según contrato celebrado entre el PROPIETARIO y el CONSTRUCTOR.

PROYECTO.

Conjunto organizado de actividades y de los recursos humanos y materiales con que se llevan a cabo, orientados a metas pre-establecidas de CALIDAD, TIEMPO y COSTO; incluyendo el DISEÑO, la CONSTRUCCIÓN y la puesta en servicio de las instalaciones.

RESIDENTE DE OBRA.

Personaje que, en el lugar de la OBRA, representa directamente al PROPIETARIO ante el CONSTRUCTOR, el (los) CONSULTOR (ES) y terceros, en asuntos relacionados con la ejecución de la OBRA: puede ser empleado del PROPIETARIO o un CONSULTOR independiente.

SUB-CONTRATISTA.

Persona física o moral responsable de la ejecución de alguna parte de la obra, o la totalidad de la misma, de acuerdo con un contrato celebrado comúnmente con el PROPIETARIO o subcontrato con el Contratista.

BIBLIOGRAFÍA.

- SUPERVISION TECNICA Y ADMINISTRATIVA DE OBRAS. Tesis elaborada por Rodolfo Sánchez Gutiérrez (México).
- PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS DE TERRACERÍAS EN CARRETERAS. Tesis elaborada por Julio César Mendoza Jiménez (México).
- MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO. Trabajo de graduación elaborado por Wilmar Andrés Botía Díaz (Bogotá).
- MANUAL OPERATIVO DEL APARATO DE GLOBO DE HULE ASTM D 2167, ANÁLISIS COMPARTIVO Y DESCRIPTIVO CON EL MÉTODO DEL CONO DE ARENA ASTM D 1556 PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE CAMPO. Trabajo de graduación elaborado por Axel Antonio Guzmán Abril (Guatemala).
- WRIGHT, Paul H. y Paquette, Radnor Joseph. Ingeniería de carreteras. Ed. Limusa, México 1993.
- CRESPO Villalaz, Carlos. Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos. Ed. Limusa, México 1979.

- GARBER, Nicholas J. y Hoel, Lester A.; Ingeniería de tránsito y de carreteras. Ed. Thomson, 3ra edición, México 2005. Traducción Raúl Arriola y Virgilio González y Pozo.
- OLIVERA Bustamante, Fernando. Estructuración de vías terrestres. Ed. Compañía editorial Continental S.A., 2da edición, México 1996.
- Sitio web de la empresa Caterpillar fabricante de maquinaria para construcción. <http://mexico.cat.com>
- Enciclopedia electrónica de contenido libre Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>