

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La tierra es un material utilizado por el hombre desde tiempos muy antiguos. Lo han empleado básicamente para la construcción de viviendas.

En la actualidad, la mayor parte de las obras de ingeniería involucran realizar obras de tierras, como por ejemplo, los terraplenes, los recubrimientos, rellenos, canales, taludes, cimentaciones y cualquier tipo de construcción civil.

La infraestructura de una carretera está constituida por todas las obras necesarias para conseguir una explanada definitiva. Incluye por tanto las explanaciones, muros de contención, viaductos y túneles como cunetas, drenes subterráneos y obras de desagüe, así como otras obras complementarias.

En principio los terraplenes y desmontes deben proyectarse y construirse de forma que cumplan tres condiciones fundamentales a lo largo de la vida de la obra; estabilidad volumétrica, resistencia mecánica e inalterabilidad frente a agentes agresivos.

Los terraplenes deben ser fabricados con los materiales adecuados para proporcionar el apoyo adecuado a la formación y estabilidad a largo plazo.

En la etapa constructiva de los terraplenes se debe considerar:

- El terreno como cimiento de la carretera y sus estructuras.
- La naturaleza de los materiales a excavar para la previsión de la maquinaria a utilizar y de su posible aprovechamiento en las explanaciones.
- Las condiciones hidrológicas y de drenaje.
- Los materiales naturales a utilizar en las distintas capas del firme.

1.1 JUSTIFICACIÓN

En el desarrollo de la construcción de un tramo carretero se realizan diferentes actividades entre ellas el movimiento de tierras el cual esta compuesto generalmente por actividades que son el corte (excavación) y la construcción de terraplenes (relleno).

Para ello es necesario contar con una guía que oriente a las personas involucradas en la construcción de dichas actividades: Corte y construcción de terraplenes.

Los trabajos de construcción de terraplenes se deberán efectuar según los procedimientos descritos .El procedimiento para determinar los espesores de compactación deberán incluir pruebas aleatorias longitudinales, transversales y en profundidad verificando que se cumplen con los requisitos de compactación en toda la profundidad propuesta.

Si los trabajos de construcción o ampliación de terraplenes afectaren el tránsito normal en la vía o en sus intersecciones y cruces con otras vías, el Contratista será responsable de tomar las medidas para mantenerlo adecuadamente.

La secuencia de construcción de terraplenes deberá ajustarse a las condiciones estacionales y climáticas que imperen en la región del proyecto. Cuando se haya programado la construcción de las obras de arte previamente a la elevación del cuerpo del terraplén, no deberá iniciarse la construcción de éste antes de que las alcantarillas y muros de contención se terminen en un tramo no menor de 500 m. adelante del frente del trabajo, en cuyo caso deberán concluirse también, en forma previa, los rellenos de protección que tales obras necesiten.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal del presente estudio, es realizar el control de calidad en la ejecución de terraplenes a partir del seguimiento a un tramo del camino asfaltado Canaletas – Entre Ríos, analizando los diferentes métodos constructivos y el cumplimiento de las especificaciones técnicas del proyecto.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las especificaciones técnicas del proyecto: construcción de terraplenes, información general de la zona de proyecto, proporcionando una descripción geológica y climática.
- Estudio detallado de la estructura del pavimento.
- Realizar los ensayos de laboratorio necesarios para conocer las características físico-mecánicas de los materiales empleados en los terraplenes.
- Realizar el control de calidad en la ejecución de los terraplenes, la localización y estudio de bancos de materiales de la zona.
- Controlar la calidad del proceso constructivo de los terraplenes.
- Analizar los diferentes métodos constructivos para la conformación de terraplenes.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente trabajo pretende buscar una solución más adecuada, limitará su alcance a los siguientes puntos considerados necesarios y suficientes, para el cumplimiento a cabalidad de su objetivo:

- Discusión de la información obtenida.
- Se pretende abarcar todos aquellos aspectos que intervienen en la construcción de terraplenes, iniciando el estudio con las características generales de los suelos, donde se indicará como se debe realizar el reconocimiento geológico y técnico, la clasificación de los suelos y la importancia de la compactación en la construcción de los terraplenes.

- Estudiar las características de los terraplenes partiendo del concepto, origen y zonas a considerar para la extracción de los materiales, el análisis de suelos óptimos para la construcción de los terraplenes, conocer la capacidad soporte de los suelos y el efecto del escurrimiento superficial en el funcionamiento del terraplén.
- El desarrollo de la parte práctica se comenzará con la descripción del proyecto: “Canaletas – Entre Ríos” donde se aplicará el estudio, se analizará los métodos constructivos utilizados en el proyecto, se caracterizará los materiales utilizados mediante ensayos de laboratorio, se describirá el equipo empleado para dicha actividad en el proyecto y se recomendará la optimización del equipo.
- Por último corresponde dar a conocer las conclusiones y recomendaciones del trabajo efectuado.

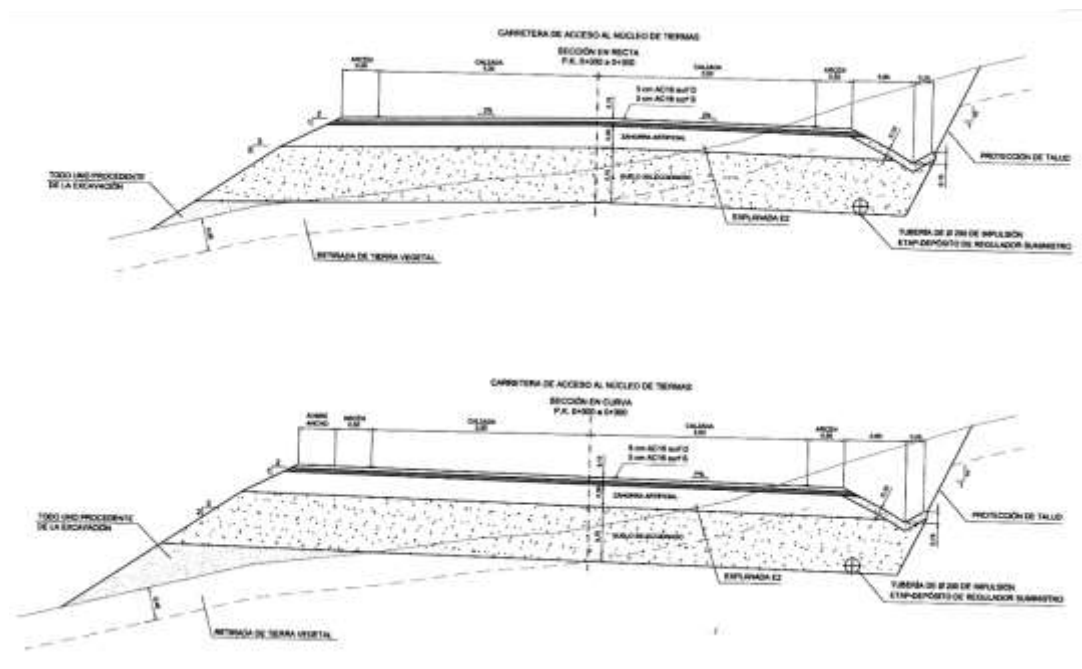
CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS DE LOS TERRAPLENES

2.1 INTRODUCCIÓN:

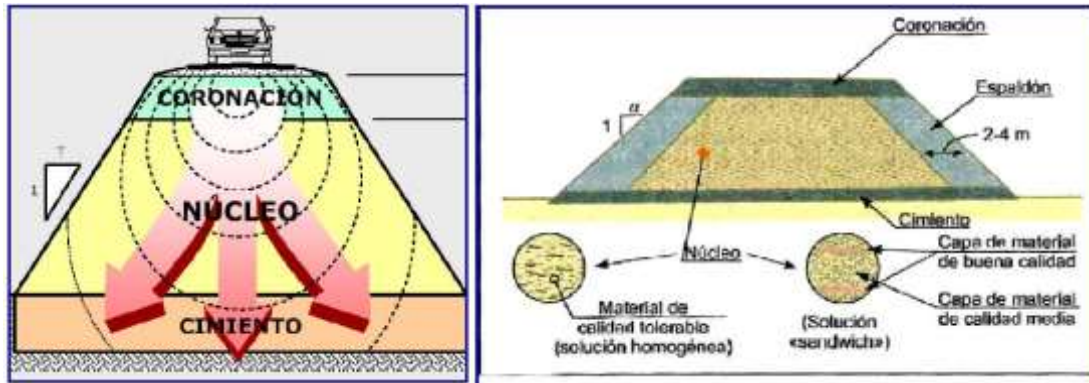
Los terraplenes son segmentos de la carretera cuya información requiere el depósito de materiales provenientes de cortes o préstamos dentro de los límites de las secciones de diseño que definen el cuerpo de la carretera que deben cumplir requisitos de estabilidad y resistencia según especificaciones.

2.2. PARTES DE UN TERRAPLEN



Un terraplén tiene un origen funcional relacionado con la diferencia de cotas entre rasante de la carretera y el terreno natural. En algunas ocasiones sin embargo la rasante no se eleva sobre el terreno por razones estrictamente geométricas del perfil longitudinal. Así, por ejemplo, con terrenos inundables cuando la capa freática es muy somera o el suelo natural es poco resistente, puede ser conveniente proteger la carretera

o aminorar las solicitaciones del tráfico al nivel del terreno natural mediante la formación de un terraplén de poca altura. Un caso especial es el de los terraplenes de acceso a obras de fábrica, que requieren una compactación cuidadosa para evitar su asentamiento diferencial respecto a los estribos.



Zonas distinguibles en un Terraplén.

El Cimiento o Base:

El cimiento está situado por debajo de la superficie original del terreno. Esta capa es la más inferior de todas, por lo que está en contacto directo con el terreno natural. Sus características mecánicas no son muy elevadas, debido a que las tensiones en este punto son bajas y disipadas.

Se trata de una zona vaciada durante el desbroce, es decir, durante la remoción y retirada de árboles, plantas, tierra vegetal, escombros, basuras y otros materiales indeseables que podrían ser causa de asientos diferenciales. La caja así formada se rellena con suelos de aportación para formar un cimiento uniforme del terraplén. En este sentido, cuando no sea necesario un desbroce previo, será incluso conveniente proceder a un escarificado y compactación homogénea de la superficie del terreno.

Núcleo:

Es la parte del relleno comprendida entre el cimiento y la corona. Conformar la parte central del terraplén, acaparando la mayor parte de su volumen y siendo el responsable directo de su geometría.

Se utilizarán suelos tolerables, adecuados o seleccionados, siempre que su índice CBR, correspondiente a las condiciones de compactación de puesta en obra, sea igual o superior a tres ($CBR \geq 3$).

La utilización de suelos marginales o de suelos con índice CBR menor de tres ($CBR < 3$) puede venir condicionada por problemas de resistencia, deformabilidad y puesta en obra, por lo que su empleo queda desaconsejado y en todo caso habrá de justificarse mediante un estudio especial, aprobado por el Director de las Obras.

Asimismo la posible utilización de suelos colapsables, expansivos, con yesos, con otras sales solubles, con materia orgánica o de cualquier otro tipo de material.

El núcleo constituye el cuerpo del terraplén propiamente dicho y está comprendido entre el cimiento y la coronación.

Corona:

Es la capa de terminación del terraplén, en la que se asentará el pavimento, por lo que estará sometida a grandes esfuerzos. Su espesor será de aproximadamente 50 cm, salvo que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente. Debe ser la capa más estable posible para el movimiento de la maquinaria sobre la misma.

Se utilizarán suelos adecuados o seleccionados siempre que su capacidad de soporte sea la requerida para el tipo de explanada, está formada por la parte superior del terraplén y su superficie constituye la explanada sobre la que se asienta el firme de la calzada y de los arcenes y su índice CBR. Por ser la zona más próxima a las cargas del tráfico, las exigencias impuestas a la calidad de los suelos utilizados en su formación y

al grado de compactación de los mismos suelen ser más severas que en el resto del terraplén.

Se podrán utilizar otros materiales en forma natural o previo tratamiento, siempre que cumplan las condiciones de capacidad de soporte exigidas, y previo estudio justificativo aprobado por el Director de las Obras.

Espaldón:

Es la parte exterior del relleno tipo terraplén que, ocasionalmente formará parte de los taludes del mismo. No se considerarán parte del espaldón los revestimientos sin misión estructural en el relleno como plantaciones, cubierta de tierra vegetal, protecciones antierosión, etc.

Se utilizarán materiales que satisfagan las condiciones que defina el Proyecto en cuanto a impermeabilidad, resistencia, peso estabilizador y protección frente a la erosión.

No se usarán en estas zonas suelos expansivos o colapsables.

Cuando en el núcleo exista material expansivo o colapsable o con contenido en sulfatos solubles mayor del 2%, los espaldones evitarán la infiltración de agua hacia el mismo, bien por el propio tipo de material, bien mediante la adopción de medidas complementarias.

Los taludes limitan lateralmente el terraplén con una sección transversal de inclinación uniforme o variable.

2.3 TIPOS DE TERRAPLENES

La tierra es un material utilizado por el hombre desde tiempos muy antiguos. Lo han empleado básicamente para la construcción de viviendas.

En la actualidad, la mayor parte de las obras de ingeniería involucran realizar obras de tierras, como por ejemplo, los terraplenes, los recubrimientos, rellenos, canales, taludes, cimentaciones y cualquier tipo de construcción civil.

En el presente trabajo se estará desarrollando el tema de los terraplenes, como una de las obras más importantes que incluye movimientos de tierra.

Los **Terraplenes** forman parte de uno de los dos grandes grupos de las obras de tierra, al igual que los **Desmontes** (ver Fig.1). Son también denominados Rellenos y generalmente son obras de ingeniería que consisten en grandes acumulaciones de tierra que se compactan y estabilizan para servir de soporte a cualquier obra de ingeniería. Etimológicamente la palabra proviene del francés “terre-plein” (literalmente: tierra + lleno).

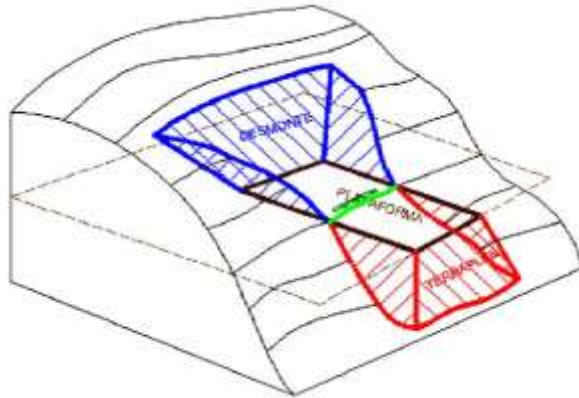


Fig. 1. Desmontes y Terraplenes, subdivisiones de las obras de tierra.

Los terraplenes típicos incluyen caminos, presas, diques, canales, y bermas.

Por otro lado, se tienen tres tipos de rellenos:

- **Terraplén:** Son estructuras realizadas con materiales tipo suelo, con tamaños máximos generalmente inferiores a 100 – 150 mm y poseen bajo contenido en finos. Se construyen mediante tongadas (capas compactadas).
- **Pedraplén:** Son estructuras construidas con fragmentos rocosos. Se construyen mediante tongadas (capas compactadas).

- **Escollera:** Estructuras construidas con bloques de rocas que pueden alcanzar hasta 1 m³. (Ver Fig. 2)



Fig. 2. Tres tipos de Rellenos.

Entre los tipos de Terraplenes también se pueden distinguir los siguientes:

Terraplenes de Poca Altura: Se caracterizan por tener una altura menor de 5 metros, grandes longitudes (hasta de varios kilómetros) y disponibilidad de espacios amplios para la maniobra de equipos. Son también llamados terraplenes de zonas planas. Este tipo de terraplén está influenciado por el terreno natural, ya que está próximo a la coronación. Por ello es necesario realizar una excavación para ubicar el cimiento; de este modo se dará una mayor uniformidad al terreno de apoyo. Es recomendable fijar una altura mínima para mejorar las condiciones del drenaje, aislando el agua freática existente en el terreno. En este tipo de obra se deben emplear suelos de mayor calidad, adecuados y seleccionados o estabilizarlos con cal o cemento para mejorar su resistencia.

- **Terraplenes de Gran Altura:** Son también llamados terraplenes de zonas montañosas y escarpadas. Se caracterizan por tener una altura de hasta 30 metros, pequeñas longitudes (menor de 50 metros) y no ofrecen espacios amplios para la maniobra de equipos.

La mayoría de los terraplenes asientan del orden de un 1 a un 3% de su altura a lo largo de su vida útil, dependiendo de la calidad de su ejecución. Existen superficies de deslizamiento causantes de asientos diferenciales que pueden llegar a colapsar la estructura. Para aminorar la magnitud de los asientos existen diversas técnicas las más usadas son:

- **Post compactación:** Se fundamenta en conseguir un mayor empaquetamiento de las partículas de suelo, utilizando grandes pesos soltados desde una altura considerable (compactación dinámica), materiales explosivos para zonas profundas de terraplén (compactación por explosivos) o elementos vibrantes introducidos a lo largo de una estructura (vibroflotación).

- **Precarga del terreno:** consiste en aplicar una carga sobre el terreno que constituye el terraplén de manera que asiente prematuramente. Posteriormente, se volverá a rellenar hasta alcanzar la cota de proyecto. Es efectiva para suelos finos. Existen diversas variantes de este sistema: relleno de tierras, empleo de grandes bloques de hormigón y escolleras, reducción del nivel freático.

- **Inyecciones:** Consiste en inyectar al suelo materiales más resistentes, para mejorar sus cualidades. Se usa en suelos granulares Gravas o arena de tamaño medio.

- **Terraplenes de zonas onduladas y entre onduladas - montañosas:** Tienen características intermedias entre los dos anteriores.

- **Terraplenes para Suelos Blandos:** Los suelos blandos, tales como arcillas, limos y turbas presentan un nefasto comportamiento como soporte de cualquier tipo de obra de tierra. Para este tipo de suelo es conveniente realizar un estudio geotécnico que caracterice el terreno, de manera que pueda estimarse la forma más precisa de

estabilidad y los asientos admisibles del terraplén. Para este tipo de suelo se obra de dos posibles maneras: si la capa tiene poca potencia puede ser económicamente viable su eliminación empleando maquinaria de movimiento de tierras; sin embargo un mayor espesor obligará actuar directamente sobre el terreno existente para mejorar sus cualidades resistentes.

• **Terraplenes sobre Laderas:** Las obras asentadas sobre laderas especialmente las lineales, como es el caso de las carreteras requieren de estabilidad mecánica. La estabilidad más inmediata pero la más costosa, es tender los taludes de la explanación. El inconveniente es el notable incremento del volumen de tierras que pueda llegar a suponer.

En el caso de laderas en roca, una buena medida es eliminar la capa del material erosionado y de origen aluvial que queda almacenado en la superficie. En laderas con taludes superiores a 2:1 4:1 6:1 es aconsejable escalonar la superficie de contacto entre terreno y terraplén, si existen riesgos de filtraciones es conveniente realizar drenes longitudinales en cada uno de los escalones para evitar presiones intersticiales que desestabilicen la obra. Si la ladera es inestable puede ser factible salvarla mediante viaductos en secciones mixtas o completas, de forma que la vía no toque el terreno, cimentándose directamente sobre un estrato profundo más competente.

2.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS EN GENERAL

Los suelos constituyen unos requisitos primordiales para obtenerse proyectos de buena calidad técnica, cuya adaptación a los condicionantes del entorno permite una buena estimación del costo de la obra. Un buen proyecto debe prever el desarrollo de las obras, que repercutirá en la calidad, costo y plazo de ejecución, y los estudios geológicos-geotécnicos previos son la base de un buen proyecto.

Al reducir las incertidumbres que rodean a la construcción, también disminuyen los riesgos de fracasos y los futuros gastos de conservación, (lo que interesa a la

Administración) y permiten al Contratista evaluar las condiciones de ejecución, evitando sorpresas, gastos y demoras suplementarias. Por lo tanto, el coste de estudios, que rara vez rebasa el 5% del presupuesto de la obra resulta despreciable frente a las ventajas que de su correcta realización pueden derivarse.

Los estudios geológicos y geotécnicos siguen normalmente una secuencia ordenada y paralela a las fases necesarias en la redacción de un proyecto (estudio previo o informativo, anteproyecto y proyecto), y abarcan desde el estudio más o menos preciso de los terrenos atravesados por las trazas posibles o definitivas hasta los estudios específicos en zonas localizadas, tales como cimentaciones de obras de fábrica, túneles, taludes de gran altura, terraplenes sobre suelos compresibles, etc. Pueden por tanto distinguirse:

a) Estudios previos o informativos:

Tienen por objeto la evaluación económica general de la obra, la comprobación de su viabilidad técnica y la discusión de las soluciones posibles. Por ello será necesario recoger una información suficiente para valorar la influencia del terreno en el coste de los diferentes trazados posibles, teniendo en cuenta los materiales disponibles en la zona y la localización de áreas con problemas especiales.

Los estudios previos de terreno tienen por objeto recoger la información básica sobre los suelos, yacimientos granulares y rocas susceptibles de ser afectados por (o utilizados) la construcción de la carretera, bien sea como cimiento o bien formando parte de la explanación o del firme. El estudio se realiza, en general, por cuadrantes de unos 9 x 14km., cubriendo la zona de interés, tanto para las posibles alternativas de trazado como para la búsqueda de canteras y yacimientos granulares próximos a la traza.

El estudio previo debe comprender, los siguientes puntos:

1. Geología de la zona

- Morfología (topografía, movimientos del terreno, taludes naturales, tipo de paisaje, vegetación capa vegetal, etc).
- Estratigrafía y litología (buzamiento, mineralogía, alteraciones, etc)
- Tectónica (sinclinales, anticlinales, diaclasamiento, intrusiones, etc)
- Hidrología y drenaje (ríos, arroyos, capas freáticas, manantiales, etc)

2. Características geotécnicas generales

- Clasificación cualitativa de suelos, materiales granulares y rocas (origen, descripción, tipo).
- Evaluación del terreno como cimiento de explanadas y de obras de fábrica.
- Problemas geotécnicos de la zona (de drenaje, estabilidad de taludes y movimientos del terreno, capacidad de soporte, agresividad)

3. Estudios de materiales: préstamos, yacimientos granulares y canteras

La información suele quedar recogida en:

- Fotoplanos (escala 1/25.000) obtenidos a partir de fotografías aéreas, en que se delimiten identifiquen aproximadamente los diferentes tipos de terrenos y se recojan datos generales sobre tectónica, condiciones de drenaje, deslizamientos observados, canteras de explotación, etc.
- Cortes geológicos de tipo general para dar una idea de conjunto
- Mapas litológicos, geotécnicos y de materiales (escala 1/100.000), delimitando las zonas con problemas.
- Memoria, que recoja:
 - Descripción geológica general
 - Localización, descripción descripción y características de los grupos litológicos.
 - Excavabilidad de terrenos o ripabilidad de rocas.

- Descripción y cortes de canteras y yacimientos granulares, con estimación de volúmenes

b) Anteproyectos

Tienen por objeto la descripción funcional, técnica y económica de la obra a realizar, fijando el trazado definitivo de la carretera tras un análisis técnico y económico de las soluciones posibles. En esta fase tiene un interés particular el estudio de las zonas con problemas.

Será necesario realizar un estudio geológico y geotécnico del terreno afectado por la traza, definiendo las zonas homogéneas y diferenciando las zonas singulares. Estas pueden serlo, por ejemplo:

- Terrenos peligrosos (blandos, erosionables, solubles, inestables, etc.).
- Importancia de las obras (terraplenes y desmontes de gran altura, túneles, cimentaciones de grandes obras de fábrica, etc.).
- Escasez o dificultades de explotación de préstamos, yacimientos y canteras (calidades, volúmenes, distancias, etc.).

Se complementarán las observaciones recogidas en la etapa anterior profundizando en el estudio de los materiales disponibles con vistas a su posible empleo en la explanación o en el firme.

La información se extrae de los reconocimientos geológicos y geotécnicos que se describen más adelante, con sondeos de prospección y ensayos de campo y de laboratorio.

El estudio debe abarcar al menos una faja de unos 200 Km. Para los estudios geológicos; y hasta 20 Km. o más en la prospección de canteras y yacimientos.

Su interpretación suele recogerse en:

- Planos y mapas geológicos y geotécnicos de la planta y perfil del trazado, con los cortes que se consideran necesarios. Las escalas pueden ser, en general, variables en función de la complejidad geológica de los terrenos atravesados o según se trate de una solución posible o de la elegida. Para esta convendrán no bajar de 1/10.000, con croquis y cortes a escala 1/4.000 – 1/2.000 de las zonas complejas, y áreas donde vayan a ubicarse enlaces, estructuras, áreas de servicio, etc.
- Memoria que recoja, de la forma más precisa posibles, las particularidades de la geología e hidrogeología de la zona y la naturaleza y características de los diferentes terrenos afectados, teniendo en cuenta lo dicho anteriormente. Se dará particular atención a las zonas singulares y a sus problemas, indicando las precauciones a tomar respecto a excavaciones, drenaje, cimentaciones, etc. Como anejos a la memoria se incluirán las partes y gráficos de sondeos y resultados de los ensayos de campo y laboratorio.

c) Proyectos

La obra debe quedar definida en el proyecto definitivo con el detalle suficiente para su ejecución, por lo que los estudios anteriores han de concentrarse sobre el trazado elegido de la forma más detallada posible con la intensidad requerida por la heterogeneidad del terreno. Entre otros puntos han de fijarse los siguientes:

- Secciones tipo de las explanaciones en desmonte y terraplén.
- Desagües superficiales y drenajes subterráneos.
- Artículos del pliego de prescripciones técnicas particulares relativas al empleo y puesta en obra de los materiales en terraplén y capas del firme.
- Cimentaciones de las obras de fábrica, distinguiendo por tipologías y métodos constructivos.
- Muros, obras de defensa, túneles, etc.

Los estudios se suelen reflejar en:

- Planos., mapas y cortes geológicos y geotécnicos detallados a escala 1/2.000 – 1/500 según zonas.
- Memoria que trate los siguientes puntos:
- Reconocimiento geológico y geotécnico detallado, basado en los estudios anteriores y en los trabajos complementarios de campo y de laboratorio .Se establecerá un perfil de los suelos de naturaleza relativamente homogénea, identificándolos y determinado sus características de compactación y de capacidad de soporte .Interesa también clasificar el material atendiendo a las condiciones de excavación (explosivos, ripper) y a su aptitud para la formación de terraplenes o pedraplenes.
- Estudio detallada de yacimiento y canteras, determinando la idoneidad de los materiales para las diferentes unidades de obra, el volumen disponible y las condiciones de explotación.
- Estudio hidrológico detallado, con definición del nivel freático y de las medidas de drenaje a adoptar.
- Artículos especiales a incluir en el pliego de prescripciones técnicas particulares, relacionados con la calidad de los materiales y su sistema de ejecución y control.
- Estudios de control de calidad.
- Plan de seguridad e higiene del personal
- Plan de medidas de protección del medio ambiente.

d) Ejecución de la Obra

Los estudios geológicos y geotécnicos no se terminan necesariamente en la fase del proyecto, sino que prosiguen con frecuencia al menos durante las primeras etapas de la obra .En principio se tratará fundamentalmente de una comprobación de la información recogida en el proyecto y del control de la ejecución. No debe descartarse, sin embargo, la posibilidad de que surjan algunos problemas inesperados a investigar y resolver. Por otra parte determinadas obras pueden

requerir estudios complementarios previstos (medida de asientos y presiones intersticiales de grandes terraplenes, deformaciones en excavación de túneles, movimientos del terreno, etc)

2.5. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO

Antes de iniciar el reconocimiento propiamente dicho debe estudiarse toda la información previa disponible y realizar una visita general a la zona. Conviene examinar el estado y comportamiento de las obras lineales existentes tales como vías de comunicación y canales, así como investigar todos los cortes que haya en el terreno de la zona como zanjas, trincheras, excavaciones, pozos, etc.

En los análisis geotécnicos los trabajos de gabinetes consisten en analizar los resultados de los trabajos de campo y de laboratorio para formular conclusiones, recomendadas y procedimientos contractivo. Se incluye el estudio de Bancos de materiales para los trabajos a realizar.

Los datos geotécnicos se reporten los resultados del estudio geotécnico. En ellos se incluye la clasificación y zonificación de los suelos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), su utilización probable como materiales de terrecerías, el tratamiento requerido para su empleo, sus coeficientes de variación volumétrica y su clasificación para presupuesto. Se proporcionan además los taludes recomendables tanto para los posibles cortes como para los terraplenes, así como las observaciones y recomendaciones generales de construcción.

Para los estudios previos conviene hacer uso posible de la foto geología o interpretación geológica de fotografías aéreas. Su examen estereoscópico por un especialista permite trazar los límites de las distintas formaciones geológicas, diferenciar los tipos de terrenos y rocas y, en muchos casos, identificarlos, así como apreciar la red natural de desagüe de las aguas superficiales. Con ello se obtiene una visión de conjunto muy útil y se limitan los trabajos geológicos de campo a las prospecciones necesarias de

comprobación y de análisis de puntos dudosos, pudiendo llegarse incluso en algunos casos a fijar datos concretos como grado de diaclasamiento, buzamiento, espesores de montera, zonas sueltas o peligrosas, etc.

Al estudio fotogeológico sigue un reconocimiento de campo, fundamentalmente geológico que completa y rectifica, si es necesario, las conclusiones alcanzadas, y un programa de sondeos, geofísica superficial, prospecciones, ensayos de laboratorio y de campo, que es función de la importancia de la información requerida en la correspondiente fase del proyecto.

A partir de la fase de anteproyecto resultan ya indispensables los reconocimientos subterráneos para conseguir la información necesaria.

Estos reconocimientos consisten en prospecciones geofísicas, sondeos mecánicos y ensayos in situ para los que es necesario abrir calicatas y pozos.

Cada vez se utilizan más, por su economía y rapidez, las prospecciones geofísicas, basadas en la medida de ciertas características físicas del terreno. Las técnicas más utilizadas son la eléctrica y la sísmica.

En la prospección eléctrica se mide la resistividad del suelo o roca, que depende de su grado de humedad, densidad porosidad, y de la conductibilidad del agua. Puede realizarse un sondeo eléctrico para obtener en la vertical de un punto del espesor y la homogeneidad de las diferentes capas (localización del lecho rocoso, estimación de un recubrimiento, etc) o bien una serie de sondeos por ejemplo cada 50m, a fin de trazar un perfil de resistividades que permita una valoración media del terreno y la detección de anomalías (zonas arcillosas, estratos rocosos, fallas, contactos geológicos, etc.).

La prospección sísmica se basa en el estudio comparativo de las velocidades de propagación de ondas en los diferentes terrenos, que depende de su compacidad, humedad y grado de figuración. Como en el caso anterior, la interpretación de las

medidas permite establecer zonas de homogeneidad, anomalías y la profundidad del lecho rocoso. Otra aplicación muy interesante es la estimación de la posible utilización del ripper en la excavación de horizontes rocosos o de tránsito, lo que depende de la velocidad sísmica, tipo de diaclasamiento y maquinaria disponible.

Sólo se necesitan datos detallados en desmontes, y el sólo hasta una profundidad del orden de 1 m. por debajo de la rasante de la explanada .En las zonas de terraplén, sólo es necesario asegurarse que el tramo subyacente podrá soportar el peso del terraplén sin grandes asientos; la profundidad del sondeo suele ser del mismo orden que la altura prevista para el terraplén, o algo mayor en los terraplenes de altura superior a 10 m.

Los sondeos mecánicos permiten la extracción de muestras alteradas e inalteradas de suelos testigos de roca, para su inspección visual o para la realización de los ensayos de laboratorio que se estimen convenientes .También se utilizan para la delimitación de zonas aparentemente homogéneas, determinación de los espesores de las capas, localización de capas, localización de capas freáticas, realización de ensayos “in situ” e instalación de aparatos de medida.

Las sondas de mano van siendo hoy sustituidas con ventaja por sondas mecánicas montadas sobre vehículos todo terreno o sobre carros de orugas .Se utilizan sondas helicoidales ligeras y otras más pesadas, montadas sobre camiones todos terrenos, que trabajan sin inyección de agua, con diámetro de hasta 0,89 metros y profundidad máximas de 12 m. Estas últimas son las más interesantes para el estudio geotécnico de terrenos sueltos pues tienen un elevado rendimiento y pueden emplearse en una gran variedad de suelos, aunque las muestras que se obtienen son alteradas. Para la consecución de muestras inalteradas se emplean cucharas toma muestras que se hincan por presión y rotación.

También se realizan sondeos a persecución o a rotación para la obtención de muestras a mayores profundidades o cuando se trata de terrenos más duros.

Exigen la inyección de agua y la entubación cuando se atraviesan suelos, pero permiten la extracción de muestras inalteradas y testigos de roca. En general, los sondeos mecánicos se complementan con calicatas y pozos.

Los sondes mecánicos con toma muestra, tanto en roca como en suelos permiten la observación directa y la utilización de las muestras para ensayos de laboratorio, pero son muy caros y lentos de realización; mientras que los taladros destructivos son muy rápidos y económicos y permiten la prospección en pro por diagráfías que proporcionan una gran información de terreno en toda la profundidad del taladro.

Las diagráfías se realizan mediante la introducción en el taladro de aparatos especiales que miden:

- a)** radiactividad natural (detección de bancos de arcillas).
- b)** Potencial espontáneo (cambios de estratos, bancos de arcillas, zonas húmedas)
- c)** Propagación de ondas sísmicas (densidad ,porosidad)
- d)** Resistividad del terreno (alteraciones variaciones de humedad, alternancia de extractos)
- e)** Conductividad eléctrica (los mismos datos de resistividad)
- f)** Rayos gamma (densidad, diaclasamiento).
- g)** Emisión de neutrones, porosidad)

Las diagráfías son rápidas y permiten determinar con mucha exactitud los parámetros del terreno complementando los datos obtenidos por el examen mineralógico, granulométrico y petrográfica, de los detritus que proporciona un sondeo destructivo, que además puede medir la velocidad de avance de la broca y la energía absorbida por el martillo perforador, datos muy valiosos para hallar el perfil geológico del terreno.

Los ensayos de identificación son fundamentalmente los de análisis granulométrico y límites de Atterberg, con lo que pueden utilizarse las clasificaciones AASHTO y ASTM. También tiene interés la determinación de la humedad natural (problemas de compactación, estabilidad de taludes, etc), contenido de carbonatos, sulfatos y materia orgánica, y a veces, los ensayos de equivalente de arena, retracción, sedimentación, análisis químico del agua, análisis químico y mineralógico de suelos, análisis petrográfica de rocas, etc.

Para determinar si los materiales de desmonte son utilizables en terraplenes y fijar las prescripciones para las ejecuciones de las obras, y en suma, para el proyecto de las explanaciones y del firme, será necesario realizar ensayos de compactación y de capacidad de soporte de los suelos afectados. Suelen ser ensayos Proctor, normales o modificados, y ensayos C.B.R. completos o reducidos, y en menor medida, ensayos de compresión simple e hinchamiento Lambre.

Para el estudio de la compresibilidad de los suelos y de su resistencia al esfuerzo cortante se utilizan, respectivamente, los ensayos edométricos y los de compresión simple, triaxial y de corte directo.

Por último, cuando interesa el estudio de la resistencia y deformabilidad de las rocas se recurre asimismo a trabajos de campo (reconocimiento, ensayos “in situ” de corte directo, etc.) o de laboratorio (examen petrográfico, compresión simple, fragmentabilidad, dureza, abrasión, meteorizabilidad, etc.).

2.6 RECONOCIMIENTO GEOTÉCNICO

1.- Clasificación de los Suelos por el Tamaño de sus Partículas:

Los suelos están constituidos por una mezcla de partículas sólidas inorgánicas, cuyos intersticios o huecos están ocupados por aire y agua en proporciones variables. Puede contener también materia inorgánica, desde cantidades despreciables hasta un porcentaje muy elevado, con en el caso de las turbas y otros suelos orgánicos.

La granulometría o gradación de las partículas de un suelo por su tamaño tiene una gran influencia en las propiedades del mismo. El análisis granulométrico es necesarios para la identificación de un suelo y permite establecer una clasificación primaria dentro de unos grupos amplios, con propiedades generales análogas.

En la denominación de un suelo interviene en primer lugar el nombre de la fracción predominante, según el tamaño de las partículas gruesas, bloques, bolos, gravas y arenas, o las propiedades físicas de las partículas finas, limos y arcillas. Así se habla por ejemplo de gravas arenosas, arenas arcillosas, arcillas limosas, etc.

Los límites de los tamaños de las partículas fijados para cada fracción no son arbitrarios, sino que intentan reflejar aproximadamente las diferentes propiedades del suelo. Así por ejemplo, las gravas no pueden retener agua capilar por el tamaño de los huecos entre partículas, a diferencia de las arenas en las que la acción capilar es considerable. Las partículas de arena son visibles sin necesidad de ayuda ocular, lo que no sucede con los limos, los cuales tienen además más cohesión en estado seco y una pequeña plasticidad en estado húmedo. Por el pequeño tamaño de sus partículas (inferior a 0,002 – 0,005 mm) las arcillas suelen tener ya propiedades coloidales y presentar fenómenos físicas-químicos asociados a su elevada específica.

Las arenas y gravas constituyen los llamados suelos granulares o de grano gruesos, en tanto que limos y arcillas son suelos finos o de grano. Los suelos orgánicos forman un grupo aparte.

2.- Características de los suelos en función de su granulometría

Los suelos granulares – gravas y arenas son fundamentalmente productos de la alteración física de las rocas. En estado seco sus partículas no tienen apenas cohesión, está es solo aparentes en arenas finas humedad y se debe a la tensiones capilares. Sus propiedades dependen de la composición mineralógica, la forma y angulosidad de sus partículas, de su granulometría y del grado de compactación o densidad. Las partículas pueden tener una forma regular (descrita a veces como esférica o cúbica), con dimensiones del mismo orden de magnitud, pero también puede ser lajas o alargadas. Su angulosidad está ligada al proceso de erosión, con partículas redondeadas, sub-redondeadas, sub-angulosas o angulosas .Las zahorras y arenas de las terrazas fluviales son generalmente redondeadas, en tanto que los materiales granulares de tipo residual presentan una mayor angulosidad de sus partículas y en su alterabilidad potencial.

Estos suelos son permeables si contienen pocas partículas y no experimentan cambios de volumen al variar su humedad. Con una granulometría adecuada, partículas de forma regular y especialmente si son angulosas, presentan una elevada resistencia a la deformación y baja compresibilidad, por lo que son materiales adecuados para utilizar en explanadas e incluso en capas del firme .En este último caso es frecuente sin embargo que se mejoren sus características naturales mediante un tratamiento mecánico (cribado, machaqueo parcial, lavado, etc.) , una corrección granulométrica por mezcla con otros materiales o una estabilidad con un conglomerante hidráulico o bituminoso.

En los suelos de grano fino–limos y arcillas–las fuerzas físico–químicas que actúan entre las partículas y los fenómenos debidos al agua absorbida sobre la superficie de las mismas y al agua combinada tiene una influencia preponderante en sus propiedades, siendo muy sensibles a la acción del agua libre que rellena sus poros.

Por su naturaleza física y química, las partículas de limo son similares a las de arena .Sin embargo por su reducido tamaño suelen presentar una cierta cohesión debida a las

tensiones capilares de las delgadas películas de agua que se encuentran entre sus partículas. Estos suelos limosos pueden ser muy susceptibles a la helada en el sentido de sufrir hinchamientos considerables si están sometidos a bajas temperaturas en régimen prolongado y tienen posibilidad de absorber agua. Su carácter de transición hacia las arcillas se pone además de manifiesto en que son poco permeables y en la influencia de la humedad en su deformabilidad, compresibilidad e hinchamiento o retracción.

3. Métodos de Análisis Granulométrico

El estudio de la composición granulométrica de un suelo o árido, es decir, la distribución ponderal de sus partículas según su tamaño se realiza en el laboratorio mediante ensayos de tamización o de sedimentación. Los primeros se utilizan para obtener la granulometría de los suelos granulares o de las partículas gruesas de cualquier suelo, en tanto que con limos y arcillas han de realizarse ensayos de sedimentación, si se quiere conocer su composición granulométrica en los tamaños inferiores a 0,080 mm.

Para los ensayos de tamizado (NLT-104) se emplea una serie normalizada de tamices de malla cuadrada y abertura decreciente, a través de los cuales se hace pasar una cantidad determinada de suelos de peso P. Esta operación se realiza por lavado para separar las partículas finas. Para evitar inexactitudes, el tamizado no debe hacerse en seco más que con áridos muy limpios.

El material retenido en cada tamiz de abertura d_j (que se asimila a la mayor dimensión media de partículas que pasan por él) se seca. De esta forma se pueden calcular el porcentaje en peso respecto al total que pasa por cada tamiz, que da lugar a la curva granulométrica.

$$\frac{(P_j)_{\text{pasa}} - (P_{j-1})_{\text{pasa}} - (P_j)_{\text{retenido}}}{P} = \frac{100}{P} \text{ -----} = f(d_1)$$

Empezando con un tamiz de abertura d_1 tal que todo el material pase por él.

$$(P)_\text{pasa} = P$$

La curva granulométrica así definida se representa en un gráfico llevado en abscisas el diámetro de las partículas en mm (luz de malla del tamiz) y en orden da el porcentaje de partículas de diámetro menor que el indicado (% que pasa total). Para poner de manifiesto la composición de las fracciones finas, la escala de abscisas es logarítmica. Existen varias series normalizadas de tamices:

2.7 LOS SUELOS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES.

Los suelos necesarios para formar los terraplenes se obtienen de los desmontes de la traza o de préstamos adecuados.

Los mejores suelos serán aquellos que son difíciles de compactar y que una vez compactados son resistentes a la deformación, poco sensibles a los cambios de humedad, especialmente en lo referente a cambios de volumen, o a la helada en áreas sometidas a muy bajas temperaturas, y sin alterabilidad potencial. Por ello son preferibles los suelos granulares de granulometría continua, con un porcentaje adecuado de finos poco plásticos y sin piedras de gran tamaño. Las arenas uniformes sin finos (A-3) son difíciles de compactar.

Los suelos de gran fino o materiales limo-arcillosos pueden ser utilizados, salvo que se trate de arcilla muy plástica o de limos muy compresibles de elevado límite líquido. Por ejemplo los límites de las especificaciones, que son tolerantes, son respectivamente $IP=65$ y $LL=90$.

Con frecuencia estos suelos de grano fino, de reducida resistencia, tienen también unas humedades naturales excesivas que dificultan o imposibilitan su puesta en obra.

Son suelos inadecuados para su empleo en terraplenes los suelos orgánicos o con materia orgánica (hojas, hierba, desechos orgánicos y otros materiales putrescibles) .Por ello no se empleará la capa de tierra vegetal, ni materiales procedentes de marismas, turberas, etc. tampoco es conveniente emplear escombros y vaciados heterogéneos, que pueden dar lugar a asientos diferenciales en servicio.

En cambio es conveniente estudiar la posibilidad de empleo de subproductos y desechos industriales locales, en algunas zonas presentan problemas ecológicos y de acopio: exquisitos de hulla, cenizas volantes, desechos de cantera, ciertas gangas mineras, escorias metalúrgicas, subproductos de industrias químicas, etc.

Por último es necesario adoptar precauciones con suelos que contengan una cantidad apreciable de sulfatos y hayan de estar en contacto con hormigón, por ejemplo, de cimentaciones o estribos de obras de fábrica, o con materiales tratados con cemento, como es el caso de los terrenos yesíferos en los que hay que evitar que las aguas en contacto con el terreno lleguen a las capas de firme.

A continuación se describen con algún detalle las prescripciones generales americanas y españolas.

La especificación AASHTO M 57-64 sobre empleo de suelos en carreteras considera 3 casos:

- 1) **Terraplenes de 15 o más metros de altura** Se utilizarán suelos A-1, A-2-4, A-2-5 o A-3, debiéndose alcanzar una densidad no inferior al 95% de la máxima Proctor .En caso de que no se disponga de estos materiales y haya que usar un

suelo de otro grupo, será necesario dedicar una atención especial tanto al proyecto como a la construcción del terraplén.

- 2) **Terraplenes de menos de 15m de altura** En principio la especificación es la misma de antes .En este caso pueden sin embargo emplearse otros suelos prestando sólo una atención especial a la compactación para conseguir una densidad mayor que la indica.

- 3) **Explanadas (Subgrades)** Bajo este término puede englobarse lo que se ha denominado anteriormente coronación del terraplén. Se prescriben los suelos A-1, A-2-4, A-2-5 y A-3 con una densidad mínima del 100% del Proctor, aun cuando en defecto de estos suelos granulares puedan usarse otros siempre que la densidad alcanzada sea como mínimo del 95% Proctor y la humedad sea al menos del 95% de la humedad óptima, la cual no se superará.

En suma, las prescripciones son tanto más estrictas cuanto mayor es la altura del terraplén y más cerca se encuentra el suelo de las cargas de tráfico. Hay una tolerancia realista pero consecuente, para la construcción de terraplenes en áreas en que escaseen los suelos de buena calidad

TABLA DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

CARACTERÍSTICAS	SUELOS TOLERABLES	SUELOS ADECUADOS	SUELOS SELECCIONADOS
------------------------	------------------------------	-----------------------------	---------------------------------

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA	máx 25% de piedra – 15cm	100% inf. A 10 cm máx.35% pasa 0.080 UNE	100% inf. a 8 cm máx 25% inf. 0.080 UNE
PLASTICIDAD	LL < 40 o bien LL < 65 e IP> (0.6LL-9)	LL < 40	LL < 30 e IP < 10
CAPACIDAD DE SOPORTE E INCHAMIENTO	CBR > 3	CBR > 5 Hinchamiento < 2 %	CBR > 10 Sin hinchamiento
DENSIDAD MÁXIMA PROCTOR	min. 1.450 Kg/dm ³	min. 1.750 Kg/dm ³	-----
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA	Inferior al 2%	Inferior al 1%	Exento

El pliego de Prescripciones Técnicas Generales establece que los suelos inadecuados no se utilicen en ninguna zona del terraplén. En núcleos y cimientos pueden emplearse suelos tolerables, adecuados o seleccionados. Los núcleos sujetos a inundación se formarán sólo con suelos granulares (adecuados o seleccionados). En la coronación deberán utilizarse suelos adecuados o seleccionados, aunque también se admite el empleo de suelos tolerables mejorados o estabilizados con cemento o cal. Por supuesto se procurará emplear los mejores suelos disponibles en la coronación de los terraplenes. Sin embargo hay que señalar que son siempre susceptibles de modificación en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares de cada proyecto. Cuando los suelos disponibles no satisfagan las exigencias generales será necesario realizar un estudio detallado de laboratorio sobre sus características para evaluar la posibilidad de su empleo y fijar en ese caso las especificaciones particulares para su puesta en obra.

2.8 CAPACIDAD DE SOPORTE DE LOS TERRAPLENES

Se denomina capacidad de soporte del terraplén a su resistencia a la deformación bajo las cargas del tráfico. Antes de exponer los ensayos utilizados actualmente para evaluar esta capacidad de soporte es conveniente analizar los factores que intervienen en el fenómeno.

Depende también de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo que la constituye. Esto significa que será función no sólo del tipo de suelo utilizado o existente en el terraplén, sino de su densidad y de su humedad. Así, una exigencia mínima en el grado de compactación de la coronación de un terraplén o del fondo de un desmonte tiene objeto asegurar un aprovechamiento suficiente de la capacidad resistente de un suelo dado.

La humedad puede ser otra parte afectar en mayor o menor grado la capacidad de soporte. Normalmente la carretera o pista de aeropuerto se proyecta y construye de modo que el firme sea relativamente impermeable, o bien que el agua que pueda penetrar en él tenga una salida a través de una capa permeable del propio firme; en otro caso habrá que asegurar que los terraplenes sea poco sensible al agua. Por otra parte es necesario evitar los soportes de agua subterránea a través de una capa freática demasiado elevada, por ascensión capilar, por filtración laterales, etc. A pesar de las medidas que se adopten, cabe esperar sin embargo que la humedad del suelo de la explanada no se mantenga constante en el tiempo y que vaya fluctuando con un régimen similar, aunque algo retardado, al de la pluviometría. En regiones de clima primaveral lluvioso y de veranos secos, la capacidad de soporte de la explanada será seguramente mínima al final de la época lluviosa y máxima al final de la época seca. Si el clima es húmedo, de precipitaciones frecuentes, probablemente se alcanzará al cabo de un cierto tiempo una “humedad de equilibrio” bajo el firme y las oscilaciones de la capacidad de soporte serán menores.

En resumen, la capacidad de soporte de un tramo “homogéneo” de la explanada será aún algo variable en el espacio y en el tiempo debido a la natural variabilidad de los suelos, de su grado de compactación y de su contenido de humedad. En estas condiciones suele adoptarse como representativo en valor suficientemente reducido como para ser superado en la mayoría de los puntos y en las épocas más favorables.

Por otra parte las cargas del tráfico actúan sobre la explanada a través del firme, que se encarga de la distribución tensional y de su acomodación a la capacidad de soporte supuesta. Para un tráfico dado, a una menor capacidad de soporte de la explanada corresponderá un firme más resistente, capaz de reducir las tensiones transmitidas a la explanada a un nivel tolerable para ésta, de forma que no sufra deformaciones permanentes incompatibles con la integridad de las capas del firme. Cada vez se procura tener más en cuenta el carácter dinámico y los fenómenos de fatiga relacionados con la solidificación repetida de las cargas, pero se comprende que sea difícil y complicado simular las solicitaciones reales a los efectos de evaluar de soporte. La identificación y clasificación de los suelos de la explanada permiten formarse una idea de la capacidad de soporte de ésta. Una evaluación cuantitativa requiere ya la realización de los ensayos.

Los ensayos de compresión triaxial y otros ensayos habituales de la Mecánica de Suelo para la estimación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos son raramente empleados para explanadas.

2.9 FUNDAMENTOS SOBRE LA COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

Los terraplenes, las explanas formadas por desmontes o excavación, las capas del firme, deben tener estabilidad volumétrica, resistencia mecánica e inalterabilidad frente a agentes externos para que la carretera presente al usuario unas condiciones de rodadura permanentes, cómodas y seguras.

Hay que tener en cuenta que los suelos de aportación, los materiales granulares y las diferentes mezclas de áridos con ligantes o conglomerantes utilizados en los firmes, han de resistir no sólo a una consolidación bajo su peso propio, sino también a la acción repetida de las cargas del tráfico. En general, y a pesar de las medidas de drenaje, habrá que contar también con eventuales aumentos de la humedad de estos materiales durante las épocas de lluvia, lo que implica una disminución de su resistencia a la deformación y la posibilidad de cambios de volumen en determinados suelos.

La compactación es un tratamiento eficaz y económico de reforzamiento de los suelos y otros materiales para que resistan las solicitaciones indicadas con deformaciones admisibles. Los materiales se extienden en tongadas o capas de espesores uniforme y se compactan o densifican mediante varias pasadas de máquinas pesadas llamadas compactadores.

Es necesario distinguir claramente entre consolidación y compactación. La consolidación es un proceso lento, debido normalmente a la acción del peso propio y de las sobrecargas, en que la densificación tiene lugar por la expulsión de aire y eventualmente de agua de los poros. En cambio en la compactación la densificación se obtiene rápidamente, por lo que no puede tener lugar una pérdida de humedad, sino sólo una disminución de los huecos de aire del suelo y un acercamiento de sus partículas provocado por la energía de compactación. Un terraplén bien compactado puede sufrir también asentamientos posteriores, bien por haberse utilizado suelos inadecuados o bien por tener un cimiento susceptible de consolidación bajo el paso del propio terraplén.

Los problemas tecnológicos que plantea el proceso de compactación aparecen en las tres fases siguientes:

1. Selección de los materiales más adecuado, atendiendo a sus propiedades resistentes una vez compactados. Estimación de su compactabilidad y

establecimientos de unos criterios cuantitativos para decidir si la compactación ha sido suficiente.

2. Selección de la maquinaria más adecuada para su compactación teniendo en cuenta su rendimiento con dichos materiales y factores económicos tales como su coste, disponibilidad, maniobrabilidad, versatilidad, etc. Fijación del proceso de compactación y en particular, el espesor de las tongadas, el número necesario de pasadas y la humedad óptima de compactación.
3. Control de la compactación, con aceptación o rechazo de la obra ejecutada.

El método de compactación elegido deberá garantizar la obtención de las compacidades mínimas necesarias. Con este objeto deberá elegirse adecuadamente, para cada zona del relleno, la granulometría del material, la humedad adecuada, el espesor de tongada, el tipo de maquinaria de compactación y el número de pasadas del equipo. Estas variables se determinarán a la vista de los resultados obtenidos durante la puesta a punto del método de trabajo.

En rellenos procedentes de rocas friables, se puede aumentar la compacidad con una trituración inicial del material, utilizando en las primeras pasadas un rodillo de "pata de cabra" adecuado.

Si en la compactación se utilizan rodillos vibratorios, el peso estático del equipo no deberá ser inferior a 10 tn.

Las zonas de trasdós de obra de fábrica, zanjas y aquellas, que por su reducida extensión u otras causas, no puedan compactarse con los medios habituales, tendrán la consideración de rellenos localizados.

Puesta a punto del método de trabajo.

El Contratista propondrá por escrito al Director de las Obras el método de construcción que considere más adecuado para cada tipo de material a emplear, de manera que se cumplan las prescripciones indicadas en este pliego. En la propuesta se especificará:

- Características de toda la maquinaria a utilizar.
- Método de excavación, carga y transporte de los materiales.
- Método de extensión.
- Espesor de tongadas, método de compactación y número de pasadas del equipo.
- Procedimiento de ajuste de la humedad.
- Experiencias, con materiales análogos, del método de ejecución propuesto.
- Posible beneficio o aumento de la compactación por riego posterior a la compactación de la tongada.

La aprobación por el Director de las Obras del método de trabajo propuesto, estará condicionada a su ensayo en obra. Dicho ensayo consistirá en la construcción de un tramo experimental con un volumen no inferior a tres 3.000 m^3 , con objeto de comprobar la idoneidad del método propuesto o proceder a adaptarlo al caso considerado. Como mínimo se harán 3 tongadas con una anchura mínima de 8m.

Durante la construcción del relleno todo-uno experimental se determinará la granulometría del material recién excavado, la del material extendido, y la granulometría, humedad y densidad seca del material compactado. Para determinar estos valores se utilizarán muestras representativas, de volumen no inferior a 1 m^3 . Se efectuarán al menos 5 ensayos de cada tipo. Asimismo, se inspeccionarán las paredes de las calicatas realizadas en el relleno todo-uno para determinar las características del material compactado.

Dichas calicatas afectarán a todo el espesor de la tongada y tendrán una superficie mínima de un metro cuadrado.

Se determinarán, mediante procedimientos topográficos, las deformaciones superficiales del relleno todo-uno después de cada pasada del equipo de compactación, y la densidad media del material compactado. Además, se realizarán ensayos de huella.

También se podrá controlar el comportamiento del material mediante otras técnicas, siempre que sean debidamente aprobadas por el Director de las Obras, tales como: Ensayo de carga con placa, siempre que el diámetro de la placa sea superior a 5 veces el tamaño máximo del material del todo-uno, y técnicas geofísicas de ondas superficiales, con longitudes de onda superiores a 10 veces el tamaño máximo del material.

La densidad seca del relleno compactado ha de ser como mínimo el 95% de la densidad seca máxima que se puede conseguir con el material del relleno que pasa por el tamiz 20, en el ensayo Proctor modificado.

Las pasadas del rodillo compactador han de ser como mínimo 4, y el asiento producido con la última pasada ha de ser inferior al 1% del espesor de la capa a compactar medido después de la primera pasada.

El ensayo de huella en la zona de transición dará un asiento medio igual o menor de 3mm. En el resto del relleno este asiento así medido será inferior a 5mm. El asiento en el ensayo de huella se medirá conforme a NLT 256. En caso de que los valores de huella obtenidos en el relleno todo-uno de ensayo, para conseguir las otras condiciones señaladas sean inferiores a los indicados, se prescribirán los mínimos obtenidos para el control de calidad del relleno.

A la vista de los resultados obtenidos, el Director de las Obras decidirá sobre la conveniencia de aprobar, modificar o rechazar el método propuesto.

La variación sensible de las características de los materiales del relleno todo-uno, a juicio del Director de las Obras, exigirá la reconsideración del método de trabajo.

Control de compactación.

Durante la ejecución de las tongadas, se controlará que el procedimiento operativo es el aprobado en el método experimental en lo que se refiere a maquinaria, espesor de tongadas, métodos de ajuste de humedad, tamaño máximo del material y número de pasadas.

Además, después de compactar las tongadas, se controlará el resultado obtenido mediante el ensayo de huella y medida de densidad según se expone en los puntos siguientes:

a) Definición de lote:

Dentro del tajo a controlar se define como "lote", que se aceptará o rechazará en conjunto, al menor que resulte de aplicar a una sola tongada del relleno los siguientes criterios:

- Una longitud de carretera (una sola calzada en el caso de calzadas separadas) igual a 500m. En el caso de la transición una superficie de 3.500m^2 y en el resto de las zonas, una superficie de 5000m^2 si el relleno todo-uno es de menos de 5m de altura y de 10.000m^2 en caso contrario. Descontando siempre en el conjunto de estas superficies unas franjas de 2m de ancho en los bordes del relleno y los rellenos localizados.
- La fracción construida diariamente.
- La fracción construida con el mismo material, del mismo préstamo y con el mismo equipo y procedimiento de compactación.

Nunca se escogerá un lote compuesto por fracciones correspondientes a días ni tongadas distintas, siendo por tanto entero el número de lotes escogido por cada día y tongada.

b) Muestras y ensayos a realizar:

Dentro de la zona definida por el lote se escogerán las siguientes muestras independientes:

- Muestra de superficie: Conjunto de 5 puntos, tomados en forma aleatoria de la superficie definida como lote. En cada uno de estos puntos se realizarán ensayos de humedad y densidad.
- Muestra de borde: En cada una de las bandas de borde se fijará un punto por cada 100m. o fracción. Estas muestras son independientes de las anteriores e independientes entre sí. En cada uno de estos puntos se realizarán ensayos de humedad y densidad.
- Determinación de deformaciones: En la zona de transición se harán 2 ensayos de huella por cada uno de los lotes definidos con anterioridad, en el resto de las zonas podrá bastar con 1 ensayo de huella por lote, salvo indicación en contra del Proyecto o del Director de las Obras.

La determinación de deformaciones habrá de realizarse siempre sobre el material en las condiciones de densidad y humedad exigidas, en particular el ensayo de huella habrá de ejecutarse nada más terminar la compactación de la capa correspondiente, evitando especialmente la formación de una costra superior de material desecado. En caso de duda, y en cualquier caso que el Director de las Obras así lo indique, dicho aspecto habrá de comprobarse e incluso podrá obligar a eliminar la costra superior de material desecado antes de realizar el ensayo.

Para medir la densidad seca "in situ" podrán emplearse procedimientos de sustitución. El uso de otros métodos de alto rendimiento tales como los nucleares no es prioridad recomendable y estará, en todo caso, sometido a la aprobación del Director de las Obras, previos ensayos de correlación y calibración satisfactorios con otros métodos adecuados. Dicha calibración se comprobará al menos una vez cada cinco lotes consecutivos.

Análisis de los resultados.

Para la aceptación de la compactación de un lote el valor medio de la densidad y al menos un 60% de los valores de cada una de las muestras individuales habrá de ser superior al exigido en Proyecto. El resto de las muestras individuales no podrán tener una densidad inferior en más de 30 kg/m^3 a la admisible.

El incumplimiento de lo anterior dará lugar a la recompactación de la zona superficial o de borde de la cual la muestra es representativa.

En caso de no cumplirse, en cualquiera de los dos ensayos del lote los valores de huella indicados por el Director de las Obras en función de los resultados del relleno todo-uno de ensayo, se procederá asimismo a recompactar el lote.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN

LA EJECUCIÓN DE TERRAPLENES

3.1.- GENERALIDADES

El control es el conjunto de actividades técnicas y planeadas, a través de las cuales se puede alcanzar una meta y asegurar un nivel predeterminado de calidad.

El control de calidad verifica la condición del producto terminado y en base a los resultados obtenidos, acepta o rechaza el producto.

En términos generales la calidad está asociada a las necesidades y satisfacción del cliente o usuario. Cuando se trata del proyecto y ejecución de obras viales, la calidad supone una serie de elementos interrelacionados que conducen a pensar en un sistema de “control de calidad”. Esto significa que realizar alguna actividad con calidad no es una tarea fácil ya que intervienen varios factores y recursos.

Un sistema de control de calidad ideal debe contemplar y armonizar los objetivos, intereses, expectativas y demandas de los organismos estatales, el proyectista, el consultor y el usuario de la obra terminada.

3.1.1.- OBJETIVO DEL CONTROL DE CALIDAD EN TERRAPLENES

El control de calidad de cualquier obra consiste en verificar el cumplimiento de las hipótesis y las bases de diseño y proyecto, así como las especificaciones de materiales y procedimientos.

El control de calidad en terraplenes se realiza tanto en el control de materiales como en la construcción del mismo. Esta verificación se hace a través de mediciones, muestreos y ensayos de laboratorio.

La calidad de los terraplenes depende de numerosos parámetros. Las condiciones de proyecto, construcción y durabilidad de las obras hacen necesario que los materiales empleados en los mismos cumplan con ciertos límites preestablecidos en las especificaciones. Para lograr este objetivo se debe estar en condiciones de actuar sobre los parámetros que condicionan las propiedades mencionadas y se debe establecer un control de calidad en toda la obra; pero este control debe adecuarse a las condiciones particulares de cada obra, analizando en cada caso:

- Infraestructura de control
- Organización del trabajo
- Organización de la inspección técnica de la obra
- Propiedades que se desean controlar

Consecuentemente con los niveles de control, se realiza el análisis de las siguientes fases:

- Control de materiales que llegan a la obra
- Control de la ejecución
- Control de la terminación de la obra.

3.1.2.- JUSTIFICACIÓN.-

Existen diversas razones de peso para justificar el control de calidad durante la ejecución de terraplenes:

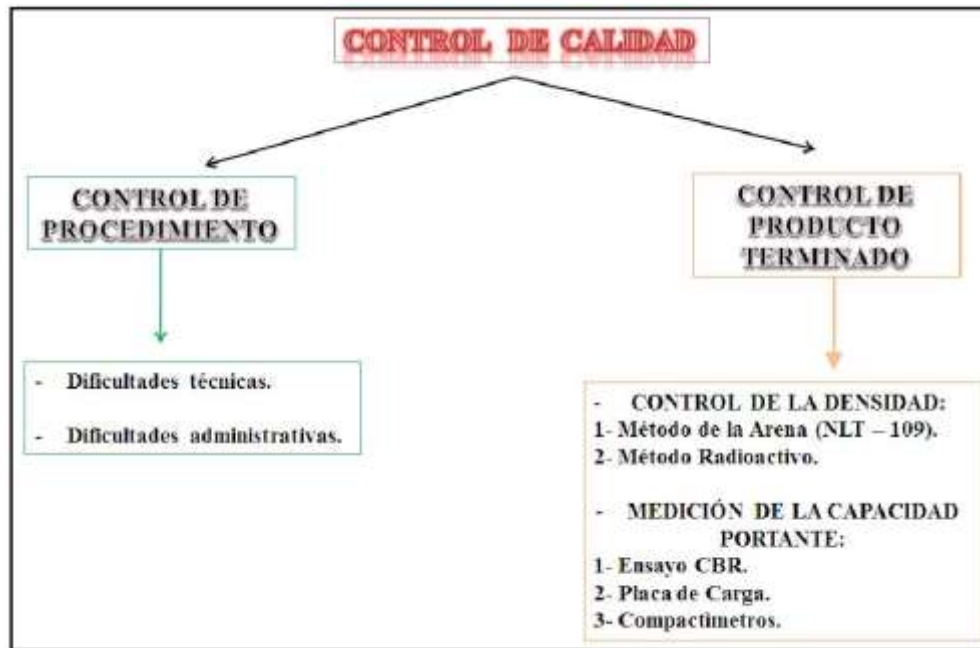
- La construcción de las vialidades es una inversión importante, de parte de los ciudadanos de una comunidad. Es decir, que el servicio que presentan los trabajos realizados a los usuarios, responda a las expectativas técnico-económicas que llevaron a su instrumentación.
- Las instituciones, deben conocer en qué condiciones recibe la obra y si el precio que está pagando por cada trabajo es adecuado a la calidad resultante cuando los trabajos son realizados, valen los mismos conceptos siendo la propia empresa que los lleva a cabo, el primer interesado en lograr un buen resultado.

3.2.- ORGANIZACIÓN PARA EL CONTROL DE CALIDAD.

Para asegurarse el correcto comportamiento del terraplén es necesario establecer una serie de procedimientos de control y comprobación de diversas características del suelo ya que a la larga van a determinar su comportamiento mecánico.

La Fig. 4.2.1. "Organización del Control de Calidad", muestra en forma esquemática el ordenamiento de las actividades del Supervisor y su relación con el control de calidad, durante la ejecución.

Fig. 4.2.1. CONTROL DE CALIDAD



Control de Procedimiento: Consiste en establecer la forma en que deberá efectuarse la ejecución del terraplén fijando, según las características del suelo disponible y el tipo de maquinaria a emplear, el espesor de la capa o el número de pasadas.

Este tipo de control se lleva a cabo en diversos países. Presenta diversas dificultades para su implantación:

Dificultades técnicas: El gran abanico climatológico existente en nuestro país dificulta la elaboración de métodos específicos de control suficientemente homogéneos.

Dificultades administrativas: La escasa disponibilidad de personal especializado en realizar controles periódicos y detallados, unido al inconfundible carácter ibérico hacen más práctico el efectuar “ensayos sorpresas” durante la ejecución de la obra, manteniendo así un estado permanente de tensión y falsa vigilancia sobre el contratista.

3.2.1.- ENCARGADO DEL CONTROL

El control de calidad recae principalmente en el Supervisor de los trabajos. El papel del Supervisor es el de controlar, revisar, observar y registrar las actividades en ejecución. Son funciones básicas del Supervisor:

- Garantizar el cumplimiento de las especificaciones técnicas y las reglas del buen arte, para el diseño y ejecución de los trabajos.
- Efectuar la medición y valorizar los trabajos apropiados para su pago, y llevar un control de la marcha de los mismos.
- Registrar la información recopilada durante la etapa de ejecución, que será de utilidad en el futuro para establecer la eficiencia y productividad de los procedimientos.
- Mantener una relación fluida entre el contratista y el cliente, a manera de asegurar la mejor operación y eficiencia de los trabajos, para la comunidad.

La mayoría de las actividades requieren, un control permanente del Supervisor y con este criterio, se elaboran las especificaciones técnicas. Esto implica una permanencia física en el lugar de trabajo, contrariamente a la práctica de limitar su participación en las instancias iniciales -para delimitar las áreas a reparar- y finales, para comprobar la calidad final, efectuar la medición y preparar la evaluación.

Algunos principios básicos en los que se apoya el esquema de control permanente o integrado son:

- El control de calidad antes y durante la ejecución permite corregir sobre la marcha prácticas inapropiadas, evitando que se prolonguen las obras por reparar trabajos defectuosos inspeccionados a destiempo.
- Muchas etapas del proceso constructivo pueden vigilarse por simple observación, resultando más sencillo y económico que un intenso muestreo y ensayos finales que puedan poner en evidencia dichos aspectos. Un ejemplo característico es el control de compactación de las capas del terraplén, para el cual puede establecerse un número mínimo de pasadas de rodillo que asegure un nivel de compactación adecuado, en vez de tener que efectuar repetidos ensayos de densidad.

- Habiendo seguido las etapas constructivas, el Supervisor podrá eventualmente interpretar las anomalías que puedan hallar en algunos resultados, que de otra manera resultarían siendo interrogantes. Esto es esencial en el desarrollo de "experiencia".
- El control durante la ejecución y su aprobación por parte del Supervisor, facilita la aceptación definitiva del producto al concluir los trabajos. El control posterior a la ejecución del trabajo deja como alternativa la no aceptación de lo construido, que no beneficia ni al contratista ni al cliente, originando conflictos.
- El control integrado o continuo, armoniza los recursos del contratista con los del Supervisor, permitiendo comprobar la real aplicación de las exigencias. El Supervisor se orienta a asegurar la calidad de la obra y no a comprobar la mala calidad.

El Supervisor no puede cambiar, revocar o suspender los requisitos de las especificaciones, tampoco debe forzar al contratista a la aplicación de métodos rígidos, sino darle la posibilidad de acceder a nuevos procesos, que al fin se traducirán en adelantos de la técnica y en beneficios económicos, aunque siempre salvaguardando los requerimientos de calidad definidos en las especificaciones.

El Supervisor tampoco debe caer en el riesgo de convertirse en Director de los Trabajos, tarea que recae sobre el Ingeniero a cargo de la obra, por parte del contratista.

El control de calidad comprende tanto materiales, equipos y procesos constructivos, siendo necesario establecer los parámetros relevantes de cada actividad o etapa.

3.2.2.- INSTRUMENTOS DE CONTROL

Las especificaciones y normas para el diseño y construcción de terraplenes si bien están orientadas a incrementar su calidad, es imprescindible disponer de un sistema que permita conducir el proceso de control de calidad de la manera más apropiada.

La inspección de los trabajos, el muestreo de materiales y las pruebas de laboratorio son procedimientos de control de calidad, destinados a hacer cumplir las especificaciones técnicas.

Es a través de éstas que se establecen:

- Los parámetros que definen el nivel de calidad.
- Los procedimientos y equipos para lograrlo.
- Los ensayos y su interpretación para comprobarlo.

El Supervisor cuenta con instrumentos legales y físicos para llevar a cabo con éxito sus funciones.

Los instrumentos legales están constituidos por los documentos de licitación y las especificaciones técnicas, éstos componen la documentación del contrato, en la que debe existir una definición precisa de los trabajos, con especificaciones concisas y actualizadas y un medio flexible, apto para conducir con éxito los trabajos de cada una de las actividades de construcción de terraplenes.

Los instrumentos físicos están constituidos por el laboratorio de materiales y los equipos de medición, actuando en forma armonizada con el Supervisor. Se espera de éste, preparación técnica, experiencia de obra, sentido común y ecuanimidad.

3.2.3.- ETAPAS EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO

Llamamos proceso constructivo al conjunto de actividades que secuencialmente permiten el desarrollo de una obra determinada hasta su total conclusión.

De esta manera, la construcción propiamente dicha es el producto de una serie de actividades las cuales pueden ser agrupadas en tres etapas fundamentales: concepción, ejecución y aplicación.

Concepción:

Esta etapa es la correspondiente a la concepción de la obra, en la que básicamente participan la institución encargada de la obra y el proyectista, el primero plantea las necesidades y requerimientos en tanto que el segundo las posibles soluciones.

Ejecución.-

Esta etapa corresponde a la construcción de la obra, en la que intervienen la selección de los materiales y la misma ejecución de la obra como actividades secuenciales.

Aplicación.-

Es la actividad en la que intervienen dos actividades que debieran ser simultáneas: el uso y el mantenimiento.

3.2.4.- REQUERIMIENTO EN EL PROCESO DE CONTROL DE CALIDAD

En obras viales una vez superada la necesidad de “Cantidad”, surge el interés por la “Calidad” de las mismas, hecho que deriva en un control más o menos organizado correspondiente al proceso constructivo.

Los elementos que se consideran importantes dentro de la ejecución del control de calidad (cuando no determinantes), son el factor humano y el procedimiento de muestreo.

Como punto de partida dos elementos fundamentales que no dejan de ser indispensables para la elaboración del “Control de Calidad” son el factor humano y las técnicas de muestreo.

Factor Humano.-

Las principales fallas en la construcción en general se deben al factor humano, que en el futuro deberá ser objeto de mayor atención, al tener una importancia capital en el resultado final del proceso constructivo.

Muestreo.-

El criterio de muestreo tradicional señala el muestreo como la toma de las partes “representativas” del conjunto, donde el muestreo lo realiza el inspector con determinada experiencia y criterio como para escoger la muestra que represente la calidad media del total del conjunto.

Las técnicas modernas del control de calidad establecen un muestreo aleatorio, que no es otra cosa que un procedimiento objetivo en el que una muestra es tomada al azar por cualquier persona sin que ésta necesite una preparación para el efecto.

En el presente estudio se realizó el muestreo de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto, obteniendo de este modo datos representativos de la zona en estudio.

Tamaño de la muestra: Se debe plantear una metodología para la obtención de datos, que debe ser adoptada de manera que el muestreo no sea excesivo a fin de evitar incrementos importantes que afecten la economía del proyecto y asimismo sea el suficiente como para orientar la toma de decisiones en el menor tiempo posible en la consiguiente aceptación o rechazo del conjunto.

3.2.4.1.- TÉRMINOS ESTADÍSTICOS DE CONTROL DE CALIDAD

Se enunciará de una manera simple y concreta los términos estadísticos a emplear en la elaboración del control de calidad propuesto.

Medidas de Valor Central: La medida de valor central más representativa es “la media” y es el número más simple y más útil, asociado a un conjunto de datos. Se define como el promedio aritmético de todos los datos de la muestra; así para: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ que son todos los valores observados en una muestra de tamaño “n” obtenida de una población, \bar{X} la media se determina por:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

Medidas de Dispersión: El concepto de dispersión de los datos está en correspondencia con la tendencia de éstos a extenderse alrededor de un valor medio, entre los elementos más empleados citamos a continuación:

- a) **Varianza:** Es una medida de dispersión mucho más satisfactoria, se presenta como un concepto análogo al momento de inercia, debido a que relaciona el

cuadrado de distancias desde un centro de gravedad (que no es otra cosa que la media). La expresión que la define es:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

- b) **Desviación Estándar:** La expresión matemática es análoga al radio de rotación de una sección estructural, y resulta ser la raíz cuadrada positiva de la varianza (σ^2); tanto la varianza (σ^2) como la desviación estándar (σ) depende de la forma y no de la dimensión, así, la adición de una constante a todos los valores observados alteraría la media pero no la desviación estándar.

La desviación estándar (σ) cuanto más pequeña es su magnitud, los datos se concentran más alrededor de la media, hecho que denota una mínima dispersión de los resultados.

La siguiente relación nos permite calcular la desviación estándar de una serie de datos:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$$

Errores: Asociado al concepto de las medidas de dispersión se encuentra el concepto del “error” que está inmerso en toda medida experimental, siendo la determinación de su magnitud fundamental para evaluar la validez del valor medido.

La siguiente relación define el error en su valor absoluto determinado en la obtención de los resultados que comprende la variable X_1 :

$$\delta X_1 = |X - X_1|$$

Donde X_1 es el valor medido y X es el valor real generalmente desconocido; así la siguiente relación permite, a partir de una serie de medidas, estimar la magnitud del error de acuerdo con los valores extremos, que en la práctica estadística se constituyen en los límites superior e inferior.

Cartas de Control: El apunte gráfico de las pruebas de control tiene el propósito principal de mostrar las tendencias de los resultados (en unidades de variable u otras dimensiones), respecto a los valores límites especificados máximo y mínimo, los cuales representados por líneas, dividen el gráfico en dos áreas: el área de productos aceptables y el área de productos defectuosos o no aprobados.

Una carta de control incluye los “límites de control” superior e inferior, los cuales definen una banda con la inclusión de los límites especificados. El exigir que el producto se enmarque entre los “límites de control”, equivale a exigir una mayor precisión en el proceso de producción. Sin embargo el producto resultante entre las líneas de control y los límites de tolerancia especificados (área denominada de corrección).

Los límites de control superior e inferior deben ser calculados por los procedimientos estadísticos recomendados según el método de control adoptado de manera de no desvirtuar el proceso en sí, sin embargo, algunos autores adoptan la determinación de estos límites por medio de resultados previamente obtenidos en alguna experiencia anterior.

El principal propósito de la elaboración de cartas de control estadísticas es el diferenciar las variaciones de carácter sistemático (inevitables) del proceso en estudio, de aquellos de carácter accidental (que podrían evitarse). Esto permite determinar cuando el proceso está fuera de control y conlleva al planteamiento de medidas correctivas en algún punto del proceso de producción.

3.2.5.- NIVELES DE CONTROL

Una gran variedad de materiales y equipos influye en la calidad del producto final según características propias, de manera que algunos actúan en forma decisiva, mientras que otros cumplen una labor simplemente complementaria.

El nivel de control es el grado de control a ejercer sobre un determinado elemento de la producción en relación a su influencia con la calidad del resultado final.

Los niveles de control deberán adecuarse a los objetivos planteados para la ejecución de un determinado proyecto debiendo ser concordantes con lo especificado para la construcción de manera que sirvan de garantía para alcanzar el nivel de calidad esperado.

La esencia del control de calidad en terraplenes, es la utilización de los resultados y de pruebas en relación con los materiales y la ejecución, con el objeto de mantener y regular la calidad de la producción de acuerdo con los requisitos especificados y en una forma económica.

3.2.6.- FORMAS DE CONTROL.-

El control propiamente dicho y los niveles que debe alcanzar se circunscriben a dos formas de control, aunque diferentes pero complementarias entre sí.

- **El control de producción**

Es un control interno, llevado a cabo por la misma persona o entidad responsable, de una determinada actividad, está orientado bajo la premisa de optimizar los

procedimientos de producción, así como verificar la eficacia de los materiales, para asegurar de esta manera el empleo de materiales aptos y mecanismos óptimos.

- **El control de recepción**

Es un control externo, llevado a cabo por una persona o institución (supervisión) que recibe el producto resultante de la actividad desarrollada por el contratista. Este control permite la aprobación o rechazo de las obras de acuerdo con las especificaciones establecidas.

Aplicado el control en cualquiera de sus formas, su eficacia es función directa del nivel de control que se emplee y básicamente depende de los siguientes aspectos:

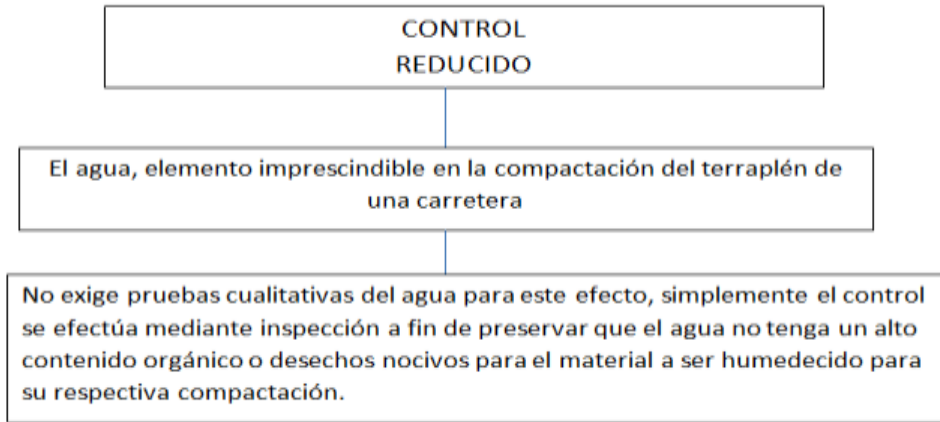
- El grado de independencia entre el control y el proceso controlado.
- Frecuencia y extensión (intensidad y alcance), del control a efectuar.
- El criterio de aceptación y acciones a tomar en caso de no cumplimiento de los requisitos mínimos para una buena calidad.

Estos tres elementos permiten clasificar los niveles de control en tres: control reducido, control normal y control intenso.

- **Control reducido**

Es el nivel de control que se aplica sobre los elementos, cuya influencia en la calidad del producto final es mínima pese a ser su presencia imprescindible en el proceso, por lo general estos elementos son intrínsecos a los ítems correspondientes o son simplemente de carácter contractual.

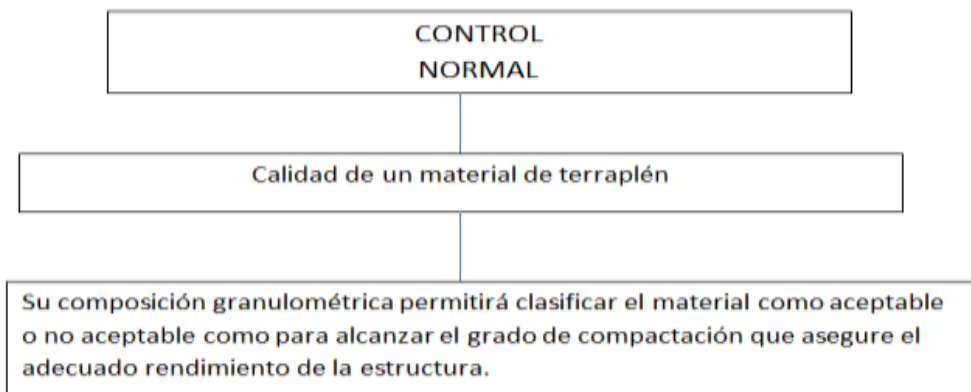
Ejm:



- **Control normal**

Este nivel de control es el que se aplica sobre aquellos elementos que son básicos para la elaboración del producto final, y tiene por objeto determinar si el material, equipo o procedimiento es aceptable para poder alcanzar la calidad deseada de acuerdo con los criterios y especificaciones previamente establecidas.

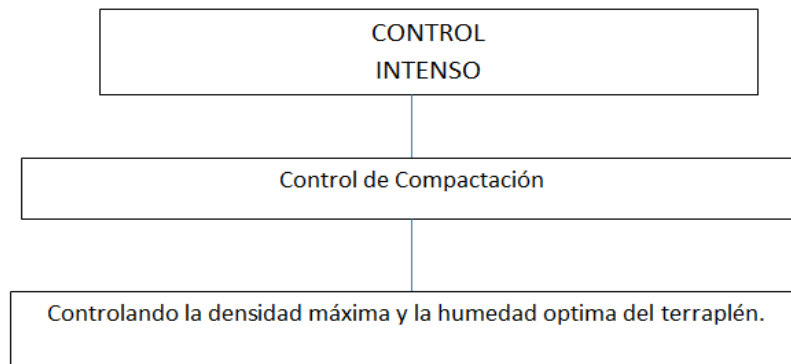
Ejm:



- **Control intenso**

Es el nivel de control a aplicar sobre elementos decisivos para la calidad del producto final y que permite clasificarlos en aceptables o rechazables para la producción propiamente dicha. Este control tiende a eliminar en grado extremo la falla del elemento construido, que de producirse constituye un elemento de alto riesgo para la seguridad y la vida humana, además de ocasionar pérdidas económicas de consideración.

Ejm:



3.2.7.- NIVEL DE CONFIANZA

Asociado al concepto de nivel de control se encuentra el nivel de confianza, que puede definirse como el factor que permite establecer el grado de riesgo a la probabilidad de acierto al que se somete el resultado final de un proceso productivo en su aceptación o rechazo.

Se presentan dos tipos de riesgo:

Riesgo del productor: Que está en directa relación con la probabilidad de rechazar un producto aceptable que cumpla con los requisitos establecidos por las especificaciones.

Riesgo del receptor: Que corresponde a la probabilidad de rechazar un producto inaceptable que no cumpla con los requisitos de producción.

El nivel de confianza estará definido por el factor de riesgo del receptor puesto que una alta probabilidad de rechazo aumenta la seguridad de que aceptarán solamente productos de alta calidad, sin embargo deberá ser manejado criteriosamente debido a que podría determinar un incremento innecesario en los costos de producción.

La siguiente Tabla 4.2.7.1. Presenta una relación entre los niveles de control descritos y los niveles de confianza a aplicar.

TABLA 4.2.7.1. NIVELES DE CONTROL

NIVEL	REDUCIDO	NORMAL	INTENSO
Grado de independencia entre control y proceso	Independencia entre control y proceso, no es ningún requisito	Puede existir interdependencia en algunos puntos del proceso	Totalmente independiente a objeto de buscar un 100% en la calidad
Frecuencia y extensión	Los controles son esporádicos breves y por simple inspección	Control sistemático, no permanente. Se cumple un plan de muestreos para analizar el producto.	El control es permanente y se aplica en todas las etapas y componentes del proceso
Criterio de aceptación y acciones a seguir	Verifica el cumplimiento de requerimientos contractuales. Instruir ejecución acorde con especificaciones y la “buena ejecución”	Plantea tolerancias en función a lo especificado. Controlar puntos importantes para determinar fallas y corregirlas en su origen	Se aplican las exigencias del proyecto con mayor rigidez. Exigir estricto cumplimiento a los requerimientos de calidad del proyecto.

Comentarios adicionales	Es la forma de control más económica. No requiere de personal especializado	Requiere personal relativamente preparado para el control	Los costos de control son elevados al requerir equipo y personal altamente capacitados
Nivel de confianza	0.80 – 0.90	0.90 – 0.95	0.95 – 0.995

3.2.8.- FRECUENCIAS DE CONTROL EN LA EJECUCIÓN.

El control de ejecución de los trabajos se basa en un conjunto de tareas de control, las que se repiten con cierta frecuencia. Sin entrar en los detalles propios de cada actividad o trabajos, las frecuencias con que se realizan estas tareas de inspección se pueden dividir en:

a) Inspección Única.

Ciertas actividades requieren una sola inspección en circunstancias normales. Por ejemplo, la revisión del equipo del contratista, cuando llega por primera vez al sitio, a menos que el equipo no funcione apropiadamente o que una unidad haya sido reemplazada, normalmente no hay necesidad de revisar otra vez.

b) Inspección en Punto Crítico.

Una inspección de punto crítico, es esencialmente la que se lleva a cabo sólo una vez y que debe ser realizada en un momento específico en la secuencia de ejecución, antes

que se lleve a cabo la siguiente etapa de ésta. Un ejemplo es la inspección de moldes y disposición de barras de acero, antes del colado del concreto. En las especificaciones técnicas se indican algunas situaciones que, para continuar requieren de la aprobación del Supervisor. Es necesario que el contratista de aviso anticipado para que el Supervisor proceda a efectuar la inspección del punto crítico; la falta de aviso puede considerarse como una infracción seria de las especificaciones, por parte del contratista.

c) Inspecciones Intermitentes del Sitio.

Muchas de las actividades pueden ser inspeccionadas y controladas adecuadamente a través de inspecciones casuales o regulares de los sitios donde se realizan, a medida que avanza el trabajo.

d) Control Continuo.

Debido a su naturaleza inherente, crítica o variable, algunas operaciones requieren la presencia plena del Supervisor. La colocación del concreto por ejemplo en la cual, la inspección permanente es justificada.

3.2.9.- ELEMENTOS DEL CONTROL DE CALIDAD.-

En la ejecución de los terraplenes son objetos de control los suelos utilizados, la extensión, la compactación y la geometría.

- **Control Tecnológico.-** El control tecnológico de calidad, es el que se ejerce en relación con las propiedades constitutivas de los materiales (Granulometría, límites de consistencia) y a las características mecánicas del producto (densidad máxima – humedad óptima y control de compactación) a lo largo de todo el proceso de ejecución.

El control de los materiales tiene por objeto comprobar que el material a utilizar cumple las prescripciones exigidas, tanto en el lugar de origen como en el de empleo; de este modo queda asegurado que no ha habido alteraciones en las operaciones de extracción, carga, transporte y descarga .Este control es fundamentalmente visual y se completa con toma de muestras representativas para realizar ensayos de identificación. En el propio tajo se requiere una vigilancia para desechar los materiales inadecuados y ensayar los sospechosos. Este elemento del control de calidad es el que define las características esenciales de durabilidad y seguridad de la obra, otorgando de acuerdo con criterios previamente establecidos, las alternativas de decisión para la respectiva aceptación o rechazo del ítem ejecutado.

De esta manera, el control tecnológico estará orientado fundamentalmente a verificar los elementos básicos para garantizar un buen desempeño de los materiales.

Los procedimientos estadísticos se prestan a facilitar tanto el procedimiento del control, como el análisis de los resultados.

Los niveles de control en los que se desarrollan los procedimientos de control tecnológico corresponden a un nivel normal e intenso.

- **El control de extensión** se basa principalmente en la inspección visual del espesor y anchura de las tongadas, así como en la temperatura ambiente mínima y estado de capa anterior.

El control de la compactación suele hacerse mediante el control de la densidad seca y de la húmeda, y en casos especiales de porosidad.

Sobre distintas tongadas de los terraplenes (y de las explanadas en desmonte, sometidas a una compactación previa a la puesta en obra de la coronación o, en el mejor de los casos, de firme) se determina puntualmente la densidad seca alcanzada in situ después del proceso de compactación. Dicha densidad puede expresarse en porcentaje de una densidad suele expresarse en porcentaje de una densidad de referencia, normalmente la máxima alcanzada en el ensayo en apisonamiento PROCTOR. Las prescripciones técnicas especifican un valor mínimo. Conviene tener en cuenta que un punto de porcentaje es una cosa nimia, puesto que un material completamente suelto tiene una densidad del orden del 85% de la referencia.

- **El control de la humedad**, se realiza en los suelos con porcentajes de arcilla que pueden influir en la capacidad de soporte y el de la porosidad en suelo o roca evolutivos potencialmente.

Como se trata de controles muestrales de los que se pretende inferir las características de la totalidad de la superficie ensayada, conviene aplicar algunos principios estadísticos sencillos:

- Deben todo definirse el “lote” que se aceptará o rechazara según los resultado de los ensayos .Un valor medio recomendado es el de 5.000m² de tongadas fricción diaria compactada, si ésta es menor.
- Una vez elegido el “efectivo” de la muestra, para que ésta no introduzca ningún “sesgo”, el emplazamiento de los ensayos debe elegirse de forma aleatoria,

evitando ir a los sitios “peores”, o a los que al operador le parecen “representativos”.

- Una vez realizados los ensayos, su resultado debe ser analizado por técnicas estadísticas. El tener algunos resultados muestrales por debajo del límite no significa obligatoriamente que el lote deba ser rechazado, es decir recompactado. Así, con 5 unidades aleatorias por muestra pueden admitirse resultados individuales de la densidad de hasta un 2% inferior al valor mínimo especificado, siempre que la media aritmética del conjunto de la muestra no sea inferior a ese valor.
 - El contenido de humedad, aunque no suele especificarse en los pliegos de condiciones, es importante que se encuentre próximo al valor correspondiente a la misma densidad Proctor (mejor por defecto) para evitar fenómenos de pérdida de resistencia en la mayoría de los suelos.
- **Control Geométrico.-** Es el control complementario al control tecnológico y es el que se aplica sobre las características físico – geométricas del producto durante su conformación y en el acabado final del mismo a fin de garantizar la seguridad y funcionalidad.

El control geométrico de acuerdo a lo especificado, determina la aprobación o rechazo de un lote de obra ejecutada.

Este control a efectuarse a niveles normal e intenso, se refiere básicamente a dos características:

- Espesor de la capa
- Nivel de acabado y tolerancias

A continuación será descrita la secuencia de actividades recomendada para el control de calidad de los ítems más importantes en la conformación de los terraplenes, el objetivo principal es el de obtener un criterio de control de calidad sencillo y simple.

3.3 PROCEDIMIENTO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES

El proceso constructivo de un terraplén comprende diversas etapas y operaciones encaminadas a conseguir las características resistentes y estructurales exigidas a cada capa, y que aseguren un correcto funcionamiento del mismo. La calidad de un terraplén depende en gran medida de su correcta realización, es decir, de la apropiada colocación y posterior tratamiento de los diferentes materiales empleados en su construcción.

Una mala ejecución puede ocasionar diversos problemas que afectarán a la funcionalidad de la carretera. Así una humectación o compactación deficiente provocará asentamientos excesivos del terraplén que fisuran y alabearán la superficie de rodadura; la correcta ejecución del cimientto en una ladera puede provocar problemas de inestabilidad, ocasionando el colapso y desmoronamiento de la obra.

Dentro del proceso de construcción de este tipo de obras, pueden distinguirse diversas fases de ejecución:



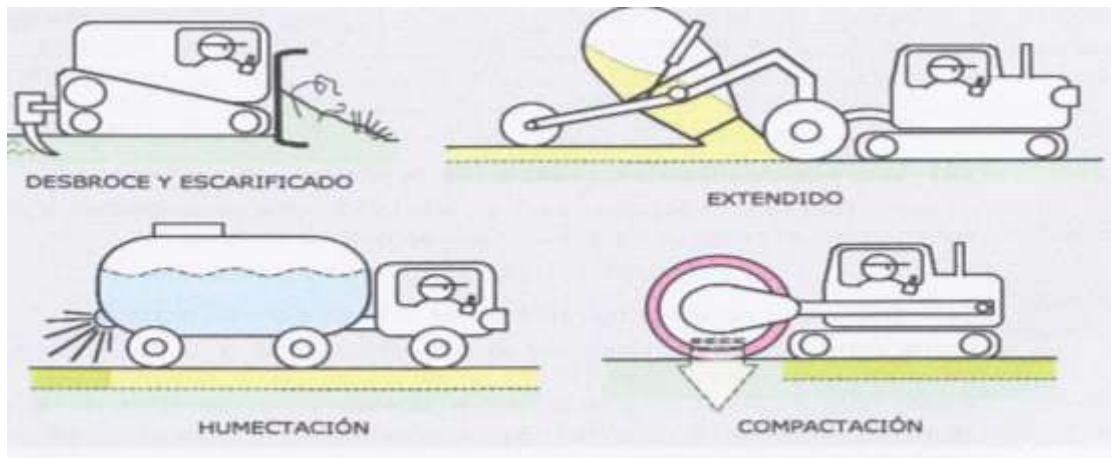
ESQUEMA SOBRE LA CONSTRUCCION DE TERRAPLENES

° Operaciones previas de desbroce de la vegetación existente, remoción de la capa superficial del terreno, escarificación y pre compactación.

° Construcción del terraplén propiamente dicho, compuesta por tres operaciones cíclicas, aplicables a cada tongada o capa de terraplén:

- Extendido de la capa de suelo
- Humectación a la humedad óptima Proctor
- Compactación de la tongada

° Terminación del terraplén, que comprende operaciones de perfilado y acabado de taludes y de la explanada sobre la q se asentará el firme



3.3.1 OPERACIONES PREVIAS

Dentro de este grupo de tareas previas a la construcción del terraplén propiamente de dicho, se incluye las labores de desbroce, eliminación de la capa vegetal y posterior escarificado del terreno subyacente.

Desbroce del terreno

El desbroce consiste en extraer y retirar de la zona afectada por la traza de la carretera todos los árboles, tacones, plantas, maleza, broza, maderas caídas, escombros, basura o cualquier otro material indeseable que pueda acarrear perjuicios al normal desarrollo de las obras o al futuro comportamiento de la vía. Como regla general, es recomendable extraer todos los tocones y raíces, especialmente aquellos de diámetro superior de 10 cm., que deberán ser eliminados hasta una profundidad de al menos 50 cm. Por debajo de la superficie natural del terreno. De esta forma se evitan heterogeneidades que pueden dar lugar a pequeños asientos diferenciales, causantes de baches y alabeos en la capa de rodadura del firme, especialmente en terraplenes de poca altura.

Los huecos causados por la extracción de este tipo de elementos, así como los pozos y agujeros existentes en la zona de explanación, deberá rellenarse y

compactarse adecuadamente para evitar que zonas se comporten como puntos débiles en la estructura del terreno .

Debido al elevado coste de las operaciones de extracción y transporte de este tipo de elemento, la tendencia actual es reducirlas en la medida de lo posible. En este sentido, el TRB norteamericano sugiere que en terraplenes cuya altura supere a los 2m. , los árboles pueden cortarse a unos 10 cm. de la superficie natural del terreno, mientras que los tocones pueden permanecer en su sitio.

Eliminación de la capa de tierra vegetal

Otro aspecto a tener en cuenta es la eliminación de la capa más superficial de terreno, generalmente compuesta por un alto porcentaje de materia orgánica (humus), que como sabemos debe ser evitada a toda costa dada la susceptibilidad que presenta a procesos de oxidación y mineralización .Por ello, la tierra vegetal que no haya sido eliminada durante el desbroce deberá removerse de la zona y almacenarse adecuadamente para su posterior uso donde sea preciso; generalmente se emplea en la revegetación de terraplenes, dado su extraordinario poder fertilizante.

No obstante, en terraplenes de gran altura puede considerarse la posibilidad de no eliminar esta capa si es de pequeño espesor – ya que los asientos que produzca serán pequeños en comparación con el total, siempre y cuando no suponga una potencial superficie de deslizamiento del talud situado sobre ella.

Si el terraplén tuviera que construirse sobre terreno inestable o formado por turba, arcilla expansivas, fangos o limos de mala calidad, también deberá eliminarse dicha capa o procederse a su estabilización en el caso de tener un espesor considerable.

Escarificado

Posteriormente a la eliminación de la capa vegetal es conveniente y a veces necesario-escarificar y recompartar el terreno en una profundidad de entre 15 y 25 cm., dependiendo de las condiciones en que se encuentre dicho suelo, la altura del terraplén o el emplazamiento de la obra en zonas que comprometan su estabilidad.

La escarificación- también denominada rizado- es una área que consiste en la disgregación de la capa superficial del terreno, efectuada por medios mecánicos. Generalmente se emplean herramientas especiales acopladas a máquinas tractoras de gran potencia (bulldozers) que se encargan simultáneamente de la eliminación del terreno vegetal y del proceso de escarificado.

El objetivo de este proceso es uniformizar la composición del suelo y facilitar su posterior recompartación, haciendo que este proceso sea más efectivo. Eventualmente puede recurrirse al empleo de conglomerantes – cal y cemento – para mejorar las características mecánicas del suelo.

Sobre esta capa de terreno se asentará el cimientto del terraplén, por lo que es conveniente que quede preparada para una correcta recepción de esta primera capa del relleno.



MÁQUINA TRACTORA EFECTUANDO LABORES DE EXCAVACIÓN Y ESCARIFICADO

3.3.2 EJECUCIÓN DEL TERRAPLÉN

Una vez preparado el terreno sobre el que se asentará el terraplén, se procederá a la construcción del mismo, empleando materiales que cumplan las condiciones exigidas para cada zona, y que ya fueron comentadas anteriormente.

La ejecución del terraplén se compone de tres operaciones que se repiten cíclicamente para cada tongada, hasta alcanzar la cota asignada en proyectos; éstas son: extendido, humectación y compactación.

Extendido

Primeramente, se procederá al extendido del suelo en **tongadas** de espesor uniforme y sensiblemente paralelas a la explanada. El material que componga cada tongada deberá ser homogéneo y presentar características uniformes; en caso contrario, deberá conseguirse esta uniformidad mezclándolos convenientemente.

El **espesor** de estas tongadas será lo suficientemente reducido para que, con los medios disponibles en obra, se obtenga en todo su espesor el grado de compactación exigido .Por lo general, dicho espesor oscila entre 15 a 20 cm. de la tongada delgada empleada en suelos finos o secos y los 20 a 40 cm. de la tongada media, empleada en suelos granulares o húmedos.

Asimismo, durante la construcción del terraplén deberá mantenerse una pendiente transversal que asegure una rápida evacuación de las aguas y reduzca el riesgo de erosión de la obra de tierra.

La maquinaria a emplear en el extendido es muy diversa, y la elección de uno u otro modelo dependen fundamentalmente de la distancia de transporte de las tierras:

- Para distancias de transporte inferiores a 500 m., se emplea el bulldozer – o el angledozer en terraplenes a media ladera- tanto en el transporte como en el extendido de cada tongada.



MAQUINARIA EMPLEADA EN EL TRANSPORTE Y EXTENDIDO DE TIERRAS

- Si la distancia de transporte se halla entre 1 y 5 km. Suele emplearse la moto traílla o scrapper para el transporte y posterior extendido.

- Una distancia superior a los 5 km. Requiere el empleo de palas cargadoras, camiones o dumpers para el transporte de las tierras y motoniveladoras para su extendido.

Una práctica habitual en obra es realizar diagramas de compensación de masas – también denominados diagramas de Brudner- para planificar adecuadamente la maquinaria necesaria en el movimiento de tierras y coordinar sus movimientos en función de la distancia de transporte.

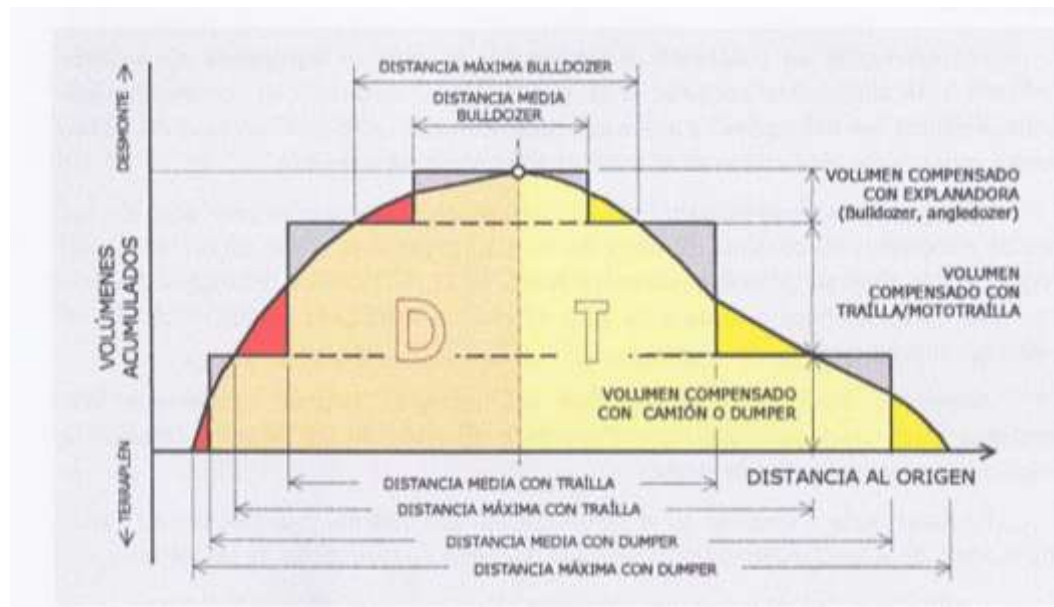


DIAGRAMA DE COMPENSACIÓN DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS

Humectación o desecación

Una vez ha sido extendida la tongada de terreno, se procede a acondicionar la humedad del suelo. Este proceso es especialmente importante, ya que cumple una doble función:

- Por un lado, asegura una óptima compactación del material, asegurando la suficiente resistencia y reduciendo los posteriores asentamientos del terraplén.
- Por otro, evita que las variaciones de humedad que se produzcan después de la construcción provoquen cambios excesivos de volumen en el suelo, ocasionando daños y deformaciones en el firme.

Suele tomarse como humedad de referencia la determinada en el ensayo de Proctor Normal o Modificado, denominada Humedad Óptima Proctor. Su valor es cercano a la humedad equilibrio, que es la que alcanzara definitivamente el firme pasado un tiempo después de su construcción.

No obstante, existen una serie de casos particulares que es necesarios tratar de forma especial:

- a) Suelos secos: Un suelo con un bajo nivel de humedad puede ser compacto hasta su nivel óptimo sin necesidad de humectarlo, empleando para ello una mayor energía de compactación. En este tipo de suelo el efecto de la compactación es reducido en profundidad, por lo que es conveniente emplear tongadas delgadas, de entre 15 y 25 cm.
- b) Suelos sensibles a la humedad: Este grupo de suelos presentan curvas de compactación muy pronunciadas, lo que los hace especialmente sensibles a la humedad. Este hecho se traduce en que una pequeña variación en la humedad acarrea consigo un cambio sensible de la densidad del suelo.
- c) Suelos expansivos: Este tipo de suelos – en el que destacan la arcilla- deben compactarse con unas condiciones óptimas de humedad para evitar cambios de volumen importantes durante la vida útil de la carretera, lo que podría ocasionar diversas patologías en el firme.
- d) Suelos colapsables: Este tipo de suelos se caracterizan por su baja densidad y bajo grado de humedad, presentado un gran número de huecos en su seno. La inundación de este tipo de suelos ocasiona un fenómeno denominado colapso, que se traduce en el asiento brusco del terraplén. Por ello, es recomendable forzar esta compactación durante la fase de construcción, saturándolo en agua.

La maquinaria empleada en esta fase de construcción es generalmente un camión provisto de un tanque de agua (camión cuba). La humectación del terreno deberá ser progresiva y uniforme hasta alcanzar el grado óptimo estipulado.

Si la humedad del suelo es excesiva, existen diversas formas de reducirla; destacan el oreo del material, trabajándolo con gradas una vez extendido, o la adición de materiales secos o sustancias como la cal viva, que además mejora las características resistentes del suelo.

Compactación

Conseguido el grado de humedad óptimo, se precederá a la última fase de ejecución del terraplén: la compactación. El objetivo de este proceso –aumentar la estabilidad y resistencia mecánica del terraplén- se consigue comunicando energía de vibración a las partículas que conforman el suelo, produciendo una reordenación de éstas, que adoptarán una configuración energéticamente más estable.

En términos más explícitos, la compactación trata de forzar el asiento prematuro del terraplén para que las deformaciones durante la vida útil de la carretera sean menores, ya que “cuanto más compacto este un suelo, más fácil será volverlo a compactar”.

La **calidad** de la compactación suele referirse a la **densidad máxima** obtenida en el ensayo Proctor. En cimientos y núcleos, se exigen densidades de al menos el 95% del Proctor Normal, mientras que en coronación, la densidad obtenida debe superar el 100% de la obtenida en dicho ensayo. Posteriormente hablaremos de los diversos métodos de control de densidades en obra.

La compactación de las tongadas siempre se efectuará desde fuera hacia el centro del terraplén; debiendo emplearse una de las siguientes técnicas constructivas:

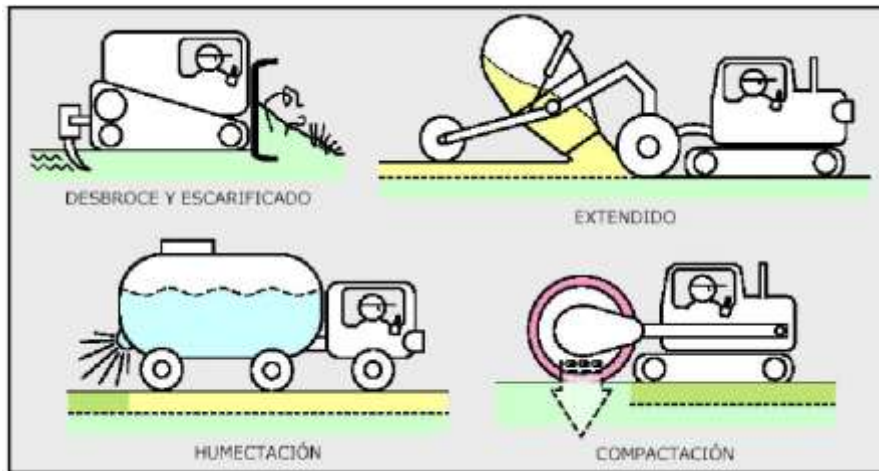
- Compactar una franja de por lo menos 2 m. de anchura desde el talud, en tongadas más delgadas y mediante maquinaria ligera apropiada (rodillos pequeños, bandejas vibradoras, etc.).

- Dotar de un ancho suplementario (1 m.) al terraplén sobre los valores estipulados en proyecto. Posteriormente se recortará el exceso colocado, pudiendo ser reutilizado.
- El relleno se efectúa sobre perfil teórico de proyecto – y los taludes se compactan directamente mediante maquinarias apropiadas.

La maquinaria empleada es muy diversa, aunque suele emplearse compactadores vibratorios de llanta metálica lisa, compactadores de neumáticos o rodillos de pata de cabra según el tipo de suelo; en los márgenes y zonas difíciles se emplean vibro apisonadores o planchas vibrantes.



MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN DE TERRAPLENES



PRINCIPALES FASES CONSTRUCTIVAS DE UN TERRAPLEN

Terminación del terraplén

Una vez construido el terraplén se realizará el acabado geométrico del mismo, **reperfilado** los taludes y la superficie donde posteriormente se asentará el firme,

empleándose generalmente la motoniveladora. También se realiza una última pasada con la compactadora – sin aplicar vibración- con el fin corregir posibles irregularidades producidas por el paso de la máquina y sellar la superficie.

Los taludes podrán se revegetados para aumentar su estabilidad y favorecer su integración ambiental, pudiéndose emplear la capa de tierra vegetal anteriormente excavada dadas sus excelentes propiedades fertilizantes.



MOTONIVELADORA PERFILANDO LA EXPLANADA MEJORADA

3.3.3. MATERIALES A EMPLEAR:

Los materiales que se emplean en la construcción de terraplenes deben provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas. Es necesario que estos materiales estén libres de: sustancias contaminantes, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales.

Los materiales expansivos no deben utilizarse en la construcción de dichas obras, debido a que esto puede ser perjudicial para la misma. Sin embargo, si sólo se cuenta con este tipo de materiales el Supervisor de la obra deberá proceder a estabilizarlos antes de colocarlos.

Se deben utilizar materiales que permitan cumplir las condiciones básicas siguientes:

- Condiciones aceptables para la puesta en obra.
- Estabilidad satisfactoria de la obra.
- Deformaciones tolerables a corto y largo plazo, para las condiciones de servicio que se definan en Proyecto.

Debido a que el suelo puede alterarse durante las operaciones de extracción, deben considerarse las características intrínsecas del material (granulometría, capacidad de absorción de agua, etc.) y las alteraciones que introducen las operaciones de manejo (según la maquinaria empleada, las condiciones ambientales, etc.).

Clasificaciones de suelos para la construcción de Terraplenes:

- **Casagrande:** En la que se clasifican los materiales por su granulometría, límites de Attemberg, contenido de materia orgánica, diferencia tres tipos de suelos.

- o Altamente Orgánicos, cuya utilización no es conveniente.

- o De Grano Grueso (menos del 50% para por el tamiz N° 200), siendo estas gravas (G) y arenas (S).

- o De Grano Fino (más del 50% para por el tamiz N° 200), su distinción se basa en la plasticidad.

- **PG-3 (2000):** En la que se clasifican los materiales por su granulometría, límites de Attemberg, contenido de materia orgánica, límites para su posible aceptación. No

considera condiciones de ejecución, ni energías a aplicar, lo cual deja libertad a los directores de la obra para que consigan el producto deseado. Distingue cinco tipos.

o **Suelos Seleccionados**: Se emplean en la coronación y en todo el resto de la estructura de tierra.

- Contenido de materia orgánica (MO) < 0.2 %
- Contenido de Sales Solubles en Agua, incluido el yeso (SS) < 0.2 %
- Tamaño Máximo no superior a 100 mm (D máx. \leq 100 mm)
- Cernido por el tamiz N° 0.4 \leq 15%, o que en caso contrario que cumpla todo lo siguiente: cernido por el tamiz N° 2 < 80%, cernido por el tamiz N° 0.4 < 75%, cernido por el tamiz N° 0.080 < 25%, límite líquido (LL) < 30 e Índice de Plasticidad (Ip) < 10.

o **Suelos Adecuados**: Los que no pudieron ser clasificados como seleccionados.

- Contenido de materia orgánica (MO) < 1 %
- Contenido de Sales Solubles en Agua, incluido el yeso (SS) < 0.2 %
- Tamaño Máximo no superior a 100 mm (D máx. \leq 100 mm)
- Cernido por el tamiz N° 2 < 80%
- Cernido por el tamiz N° 0.080 < 35%
- Límite Líquido (LL) < 40
- Si el límite líquido es > 30, el índice de plasticidad (Ip) > 4

o **Suelos Tolerables**: Los que no pudieron ser clasificados como seleccionados, ni como adecuados. Se emplean en núcleos, cimientos y espaldones.

- Contenido de materia orgánica (MO) < 2 %
- Contenido en $\text{o} < 5$ %
- Contenido de Sales Solubles distintas al yeso (SS) < 1 %
- Límite Líquido (LL) < 65
- Si el límite líquido es > 40, el índice de plasticidad será mayor del 73% que resulte de restar 20 al límite líquido (Ip > 0.73 (LL - 20))
- Asiento en ensayo de colapso < 1%

- Hinchamiento en ensayo de expansión < 3%

o **Suelos Marginales:** Los que no pudieron ser clasificados como seleccionados, ni como adecuados, ni tolerables. Son suelos muy plásticos y por lo tanto expansivos, no se permite su utilización en la construcción de terraplenes sino con un estudio y tratamiento especial.

- Contenido de materia orgánica (MO) < 5 %

- Hinchamiento en ensayo de expansión < 5%

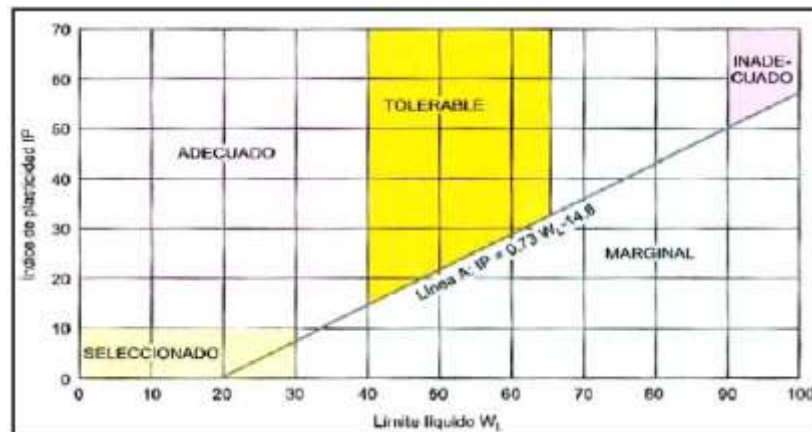
- Si el límite líquido es > 90, el índice de plasticidad será mayor del 73% que resulte de restar 20 al límite líquido ($I_p > 0.73 (LL - 20)$)

o **Suelos Inadecuados:** No se permiten para la construcción de terraplenes.

- No se pueden incluir en las categorías anteriores

- Las turbas u otros suelos que contengan materiales perecederos u orgánicos

- Los que puedan resultar insolubles para actividades que sobre los mismos se desarrollen.



CLASIFICACIÓN DE SUELOS PARA TERRAPLENES SEGÚN SU PLASTICIDAD.

• **Francesa:** En la que se clasifican los materiales por su granulometría, plasticidad, contenido de sales, estado de humedad, etc. Establece relaciones sobre cuándo y dónde

se puede utilizar. Distingue seis grandes grupos.

A Suelos finos	D < 50 mm Pasa por 80 μm > 35 %	$I_p < 10$		A ₁	
		$10 < I_p < 20$		A ₂	
		$20 < I_p < 50$		A ₃	
		$I_p > 50$		A ₄	
B Suelos arenosos y gravas con finos	D < 50 mm Pasa por 80 μm entre 5 y 35 %	Pasa por 80 μm entre 5 y 12 %	Retenido por 2 mm < 30 %	E A > 35	B ₁
				E A < 35	B ₂
			Retenido por 2 mm > 30 %	E A > 25	B ₃
				E A < 25	B ₄
		Pasa por 80 μm entre 12 y 35 %	$I_p < 10$		B ₅
			$I_p > 10$		B ₆
C Suelos con elementos finos y gruesos	D > 50 mm pasa por 80 μm > 5 %	Pasa por 80 μm, poco	Pasa por 80 μm, mucho		C ₁
			D < 250 mm		C ₂
			D > 250 mm		C ₃
D Suelos y rocas sensibles al agua	Pasa por 80 μm < 5 %	D < 50 mm	Retenido en 2 mm < 30 %		D ₁
			Retenido en 2 mm > 30 %		D ₂
		50 mm < D < 250 mm		D ₃	
		D > 250 mm		D ₄	
E Rocas evolutivas	Materiales de estructura fina, frágil, sin arcilla o poco arcillosos. Ejemplo: grava, areniscas finas.			E ₁	
	Materiales de estructura gruesa, frágil, sin arcilla o poco arcillosos. Ejemplo: arenas gruesas, pudingas.			E ₂	
	Materiales arcillosos evolutivos. Ejemplo: margas, pizarras arcillosas, argilitas.			E ₃	
F	Materiales putrescibles, combustibles, solubles o contaminantes. Ejemplo: tierra vegetal, basuras, turbas, ciertas escombreras de minas, suelos salinos y yesíferos, ciertas escorias, etc.			F	

EA = Equivalente de arena (ensayo para determinar la proporción relativa de suelo granular y suelo cohesivo).

CLASIFICACIÓN FRANCESA DE SUELOS PARA OBRAS DE TIERRA.

Adicionalmente, es importante tener en cuenta que en todo suelo a emplearse en la construcción de terraplenes, debe cuidarse la presencia de Yeso (Ca_2SO_4), ya que éste se disuelve fácilmente en agua, y en zonas donde existan filtraciones, frecuentes precipitaciones o un alto nivel freático, no deben ser utilizados este tipo de suelos con comportamiento arcilloso (contenido de yeso superior al 20%).

Por otro lado, tomando en cuenta las diferentes zonas que componen un terraplén, en el **cimiento** se pueden colocar suelos (PG-3, 2000) seleccionados, adecuados y tolerables; por economía se pueden tomar los tolerables si no existen problemas de tipo estructural o constructivo en el área. En el **núcleo** se pueden emplear suelos seleccionados y adecuados, y también tolerables siempre y cuando el núcleo esté sujeto

a inundación (en contacto directo con el agua). Y por último en la **coronación** se pueden emplear suelos que cumplan con condiciones granulométricas y de plasticidad estrictas, los suelos seleccionados son aptos para ello aunque también se usan suelos adecuados e incluso tolerables, siempre y cuando sean debidamente estabilizados con cal o cemento para mejorar la resistencia.

3.4 MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN DE LOS SUELOS

Las primeras máquinas empleadas para la compactación de los suelos fueron las apisonadoras de rodillos lisos que se empleaban en la compactación de firmes. Además de construirse máquinas más eficaces y mejor adaptadas a la compactación de los terraplenes.

En general, un suelo podrá compactarse con cualquier máquina de cierto peso que incida sobre él, pero el rendimiento y el grado de compactación que se alcancen dependerán de una elección acertada.

Las máquinas utilizadas suelen compactar por uno de los principios siguientes o por una combinación de ellos:

- presión estática, sin o con un cierto amasado del suelo.
- Impacto dinámico.
- Vibración

- Compactación por presión estática.

Apisonadoras de rodillos lisos, se trata en general, de máquinas automotrices lastrables, con un peso máximo total comprendido frecuentemente entre 10 y 15.

Según el número y disposición de los rodillos, las máquinas pueden ser:

Tandem de dos rodillos en serie, uno de ellos tractor.

Triciclo, o de tres rodillos, uno delantero y dos en el eje tractor, los cuales suelen tener mayor diámetro.

Triejeso de tres rodillos en serie.

Las características de estos rodillos dependen de su peso por cm. de llanta metálica, así como del ancho y diámetro de los rodillos. Aun cuando pueden compactar con un rendimiento escaso tanto suelos granulares como suelos cohesivos con una humedad adecuada, en tongadas de 10- 20 cm. y 4-8 pasadas, hoy se emplean sobre todo en la construcción de firmes y en el alisado o planchado de capas ya compactadas por otras máquinas.

Rodillos de pata de cabra Los rodillos pueden ser, remolcados por un tractor o autopropulsados, los cuales son de mayor rendimiento. La superficie del cilindro metálico está erizada de unas protuberancias en forma de troncos de pirámide (patas de cabra) que al girar el cilindro, se hincan en el terreno por la elevada presión de contacto. La compactación tiene lugar de abajo arriba, con un amasado del suelo: al comienzo las patas se hincan en la tongada en casi toda su longitud, compactando la parte inferior de la misma, durante las siguientes pasadas, la creciente resistencia al esfuerzo cortante del suelo soporta cada vez más el peso del rodillo, cuyas patas penetran menos. Cuando las huellas son del orden de 1/5 del espesor de la tongada puede pesarse a la extensión de la tongada siguiente o la compactación o a la compactación final con un rodillo liso.

Estas máquinas se utilizan únicamente para la compactación de suelos cohesivos con cierta humedad, no siendo apropiadas para los suelos granulares por lo que su utilización en carreteras no es frecuentes salvo en zonas donde se encuentren estos suelos, como fondos de desmonte o base de terraplén.

Su característica de compactación depende de la presión unitaria en las patas y de la cobertura, o relación entre el área total de las patas y la superficie cilíndrica envolvente;

estos factores dependen a su vez del peso total del rodillo, que puede ser lastrado, de la distribución y de la forma de las patas,

Los rodillos suelen tener un diámetro y una anchura de 1-2 m. de peso en vacío de 1,5-6 y un peso en carga de 3-12 t. Los rodillos remolcados por tractor están con frecuencia acoplados en paralelo o en serie. Los autopropulsados sólo se emplean en obras importantes.

El espesor de las tongadas suele ser de 15-30cm. Y son necesarias muchas pasadas (-16).

Rodillos segmentados. En lugar de patas tienen una serie de placas, a veces móviles. Por acción, pueden considerarse como intermedios entre los rodillos lisos y los de pata de cabra. Se emplean muy poco en la actualidad.

Rodillos de reja. La superficie del cilindro está constituida por una reja parecida a una criba, con lo que disminuye notablemente la superficie de contacto y aumenta la presión unitaria. Puede emplearse para triturar y compactar eficazmente rocas blandas o suelos cohesivos secos, pero su utilización actual es muy reducida.

Compactadores Neumáticos. Consisten básicamente en un chasis capaz de ser lastrado y varias ruedas dispuestas normalmente en una o dos filas, que constituyen el elemento compactador. Las ruedas suelen tener un sistema de suspensión deformable o elástico, que permite unos movimientos relativos apreciables entre las mismas ruedas y entre estas y el chasis, aproximándose en algunas máquinas a una condición hipostática obtenida por medios mecánicos o hidráulicos. El suelo se somete así a una compactación relativamente uniforme y a una acción muy eficaz de amasado.

Estos compactadores pueden emplearse, como los rodillos vibratorios que se describen más adelante, para compactar una gama muy amplia de suelos bases y sub-bases en

firμες, así como capas de aglomerado bituminoso y tratamientos superficiales. Esta versatilidad, unida a su adaptabilidad al material a compactar y también a su factibilidad de desplazamiento dentro y fuera de la obra constituye unas ventajas muy apreciadas para los constructores de carreteras.

Pueden ser también remolcadas por un tractor o bien ser automotores, los primeros apenas se emplean por su escasa maniobrabilidad. Otras características importantes son el número, tipo y disposición de los neumáticos, el sistema de sustentación y la carga por rueda, así como la presión y el área de contacto que dependen a su vez del tipo de neumático, de la presión de inflado y de la carga por rueda.

El fabricante suele proporcionar las curvas características de cada tipo de neumático. La presión de contacto es superior a la del inflado. Si esta es moderada y la carga por rueda es elevada. La presión de contacto suele ser en cambio inferior a la de inflado si esta es elevada y la carga por rueda es moderada.

Algunos compactadores tienen compresores autónomos para la regulación de capas de aglomerado asfáltico que requiere un aumento gradual de la presión.

Para que la compactación sea efectiva no es conveniente que las tongadas tengan un espesor superior a 1,5 – 2 veces el radio del área de contacto, por lo que suelen ser de 20 -30 cm.

Para comprender la distinta influencia de la carga por rueda y de la presión de contacto es interesante recordar la distribución de tensiones verticales bajo el centro de una carga circular de intensidad P , con una presión de contacto uniforme p , en un macizo semi indefinido elástico, isótropo y homogéneo. En la fig. Sgte. se han considerado 4 casos, según que P o/y p tomen valores sencillos o dobles. La disminución de las tensiones verticales con la profundidad permite sacar las siguientes conclusiones en términos cualitativos.

1. Con tongadas de gran espesor es más eficaz aumentar la cargas por rueda que la presión de contacto .Esta observación interesa particularmente a la compactación de suelos.
2. Con capas delgadas de pequeño espesor es más eficaz aumentar la presión de contacto .Por ello los compactadores de neumáticos utilizados para las relativamente delgadas capas de mezcla bituminosa suelen trabajar con elevadas presiones de inflado y contacto.

Estos compactadores son particularmente eficaces con suelos algo cohesivos, ya sean zahorras y arenas con finos limos- arcillosos o bien suelos de grano fino de plasticidad moderada. En cambio compactan peor los suelos granulares sin cohesión, en particular los de granulometría uniforme

En construcción de terraplenes se emplean con frecuencia neumáticos con dibujo profundo, en tanto que para la compactación de aglomerados se emplean neumáticos lisos.

En la tabla siguiente se recogen algunas características generales de compactadores automotores , muy utilizados en la construcción de formes ,y de compactadores remolcados a baja velocidad (4-8 Km/h) .Los compactadores muy pesados ,de hasta 200t de peso total ,se emplean para un apisonado de control (Prof.-rolling), el cual tiene por objeto detectar zonas inestables o que puedan sufrir asientos en servicio .Este apisonado previo puede interesar ,por ejemplo para la explanación de viales urbanos en zonas de antiguos vertidos, en general no compactados y de características heterogéneas.

La utilización de los rodillos de neumáticos es mucho más frecuente en las capas de firme que en las de terraplén, donde se usan más los rodillos vibratorios.

La maquinaria empleada en la compactación de terraplenes es muy diversa, aunque suelen emplearse **compactadores vibratorios** de llanta metálica lisa, compactadores de neumáticos o rodillos de pata de cabra según el tipo de suelo; en los márgenes y zonas difíciles se emplean vibro apisonadores o planchas vibrantes.



MAQUINARIA DE COMPACTACIÓN DE TERRAPLENES

3.4.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS COMPACTADORES DE NEUMÁTICOS

Compactadores automotores

Peso en vacío: 1,0N/mm ²	5-15t	Presión de inflado:	0,2-
Peso en carga: 2,5 m	10-30t	Anchura de Compactación:	1,7 -
Carga por rueda: 150 CV	1-5	Potencia	50 -

Compactadores remolcados.-

Tipo	Peso total(t)		N° de ruedas	Carga máx. por rueda (t)	Presión de inflado	Potencia del tractor
	Vacío	Lastrado				
Ligero	2-10	10-20	7-13	0.8-1.5	0.1-1.5	50-100
Pesado	10	30	4	7.5	0.1-0.6	150-200
Muy Pesado	15	60-200	4	15-50	0.2-0.8	200-300

Compactación por impacto dinámico.-

Pisones automáticos: Como en el caso de los pisones de mano, la compactación se produce por el impacto de una masa que cae sobre la superficie a compactar. Funcionan con aire comprimido o con un motor de explosión.

Los pisones ligeros tienen un peso del orden de 100 Kg, en tanto que los pisones (“ranas”) pesan 500-1.200 Kg y producen sólo 50-100 golpes por minutos. Gracias a la inclinación del eje vertical de la máquina, el operario puede desplazarla sin dificultad.

Por su bajo rendimiento, estas máquinas se emplean hoy solamente en obras pequeñas o para compactar áreas reducidas o de difícil acceso (zanjas, rellenos próximos a muros, estribos, etc.) En términos generales y para tongadas de unos 15-20 cm pueden ser necesarias 4-6 pasadas.

Pisones de caída libre: Una grúa eleva el pisón (2-3t) a una altura de 1-3 m, desde donde cae con una frecuencia de 5-2 golpes por minuto. Actualmente se emplean poco, su mayor utilidad estriba en su capacidad de fragmentación y compactación de

materiales rocosos en pedraplenes, pero en la actualidad este trabajo se realiza con rodillos vibratorios muy pesados.

Rodillos apisonadores (tamper): Estos rodillos automotores son cada vez más empleados en las grandes obras de carreteras. Tienen un gran peso estático, están erizados de unas protuberancias tronco piramidales y operan a una velocidad elevada (20-25 Km/h), lo que da lugar a frecuentes impactos y a una cierta acción de amasado. Su rendimiento es elevado con zahorras y arenas con finos, la compactación tiene lugar en pocas pasadas de espesor moderado. Requieren una terminación final con apisonadoras de rodillos lisos estáticos o vibratorios. Se emplean en todas las capas del terraplén, principalmente con suelos algo cohesivos o cuando es necesaria una homogeneización granulométrica por fragmentación caso de las rocas blandas.

Compactación por vibración:

Por su elevado rendimiento con toda clase de suelos, en particular los granulares, este tipo de compactación se emplea cada vez más en la construcción de terraplenes y capas de firme.

Las vibraciones son producidas por masas excéntricas que giran a gran velocidad y provocan una fuerza centrífuga proporcional a la masa y al cuadrado de la frecuencia. La fuerza dinámica que actúa sobre la superficie a compactar llega así a duplicar la fuerza estática debida al peso propio de la máquina. Con frecuencias bajas, la fuerza dinámica aumenta como la fuerza centrífuga; con frecuencias mayores la fuerza dinámica crece mucho más de prisa que la centrífuga hasta alcanzar un máximo, disminuyendo después. El máximo corresponde a una frecuencia de resonancia del sistema de máquina –suelo para el que se consigue además una notable reducción del rozamiento entre las partículas del suelo. La frecuencia de resonancia no solo varía con el suelo o material a compactar, sino que depende del grado de compactación.

.Idealmente convendría iniciar la compactación con una frecuencia baja y luego ir aumentándola .Muchas veces no es posible sin embargo modificar la frecuencia ,interesando trabajar por ello con un valor próximo a la frecuencias para terraplenes es de 20- 40 Hz y por capas.

CAPÍTULO IV

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1 ANTECEDENTES

En 1966 el SENAC elaboró el Diseño Final del Proyecto "Variante Canaletas -Entre Ríos", el mismo que disminuye 18 Km. la longitud de recorrido en relación al camino actual. Mejora sustancialmente las características de diseño, reduce los costos tanto de construcción como de operación y mantenimiento. El Servicio Prefectural de Caminos, en la gestión 2000, procedió a actualizar el Diseño antes mencionado, preparando además un documento a nivel de Prefactibilidad que ha permitido seleccionar y asumir este diseño, como tramo integrante del proyecto: Tramo Carretero " Puerta del Chaco - Villa Montes". Estos documentos están conformados por el levantamiento topográfico del año 1966, además de un cálculo preliminar de volúmenes de obra. No existen documentos de respaldo ni antecedente de estudios de ingeniería básica realizados aparte del levantamiento topográfico.

El trazo se desarrolla en forma paralela a los Ríos Tambo y Santa Ana hasta llegar a Entre ríos, esta zona es muy accidentada con presencia de Farallones verticales en las proximidades del Kilómetro 10.

El tramo: "Canaletas - Entre Ríos" por la ruta actual, es casi un camino vecinal, que no respeta ninguna normativa de diseño geométrico y que en la actualidad, por falta de mantenimiento, se encuentra en precarias condiciones. Esta vía tiene una longitud de 42 km. los que se los recorre en vehículos livianos en aproximadamente en 1 hora y 15 minutos, mientras que en vehículos pesados el recorrido se efectúa en alrededor de 2 horas.

Mientras que el tramo: "Canaletas - Entre Ríos (variante)", en actual construcción, tendrá una longitud de 23.380 km. que permitirá un recorrido a 40 km/h, que es la velocidad de diseño, de aproximadamente 35 minutos Si consideramos una velocidad de 60 km/h. el tiempo que se tomará recorrer el tramo es de 23 minutos.

Es importante resaltar que este tramo en su totalidad se trata de apertura y no de mejoramiento, por lo que los costos de construcción son mayores, ya que en muchos casos se desconocen varios factores de la zona, por ejemplo: drenaje natural, régimen hídrico (pueden existir microclimas), geología, etc.

La variante comienza a 200 m de la pensión Membrillos en Canaletas, para luego cruzar el río Canaletas con un puente de 30 m de luz, luego se sigue la margen derecha del mismo río con una dirección noreste. El trazo se desarrolla siguiendo el curso de los ríos Canaletas, Tambo y Santa Ana (que en realidad es el mismo río que va cambiando de nombre en las confluencias con riachuelos menores) hasta llegar a Entre ríos, a la altura de la progresiva 19+800 se cruza el río Santa Ana y el camino cambia a la margen izquierda. La topografía de la zona es sumamente accidentada, existen sectores por donde discurrirá el trazo, donde la presencia de riscos prácticamente verticales obligará a un gran movimiento de tierras.

Los sectores más conflictivos se encuentran entre los kilómetros 3+000 a 9+000 (existe una ecuación de longitud en este tramo), 11+000 al 16+000 y 17+000 al 19+000, donde la topografía es demasiado montañosa, con farallones demasiado altos y verticales surcados por quebradas muy profundas, aunque de caudales intermitentes. La zona del abra de Las Lomas a la población de Entre Ríos es la más suave topográficamente hablando, ya que ahí tenemos un sector de topografía ondulada. Este tramo abarca lo que corresponde a las progresivas 21+700 a 25+060.

4.2 UBICACIÓN

El proyecto: Tramo Carretero "Puerta del Chaco - Villa Montes", pertenece a la Red Vial Fundamental y tiene una longitud aproximada de 200 Km. y es considerada prioritaria para el desarrollo del Departamento de Tarija debido principalmente a los siguientes factores:

- ✓ La necesidad de integración física que tiene Bolivia con los países vecinos y sub-regiones del continente, ya que la misma permitirá un relacionamiento adecuado con países limítrofes, mediante la conformación de una ruta que forme un nuevo corredor de integración bioceánico.
- ✓ La necesidad de integración departamental que tiene Tarija. ya que el tramo carretero permitirá vincular las provincias Cercado, O'Connor y Gran Chaco
- ✓ La necesidad que tiene Bolivia de mejorar las condiciones de infraestructura para la exportación de productos no tradicionales que permitirán el incremento y diversificación de la producción creando nuevas fuentes de trabajo, en el contexto de la evolución de la economía.
- ✓ Las restricciones y dificultades a las que se ve sometida la carretera, debido a las características actuales: ancho de plataforma, superficie de rodadura, pendientes pronunciadas, radios de curvatura insuficientes, deficiencias en los sistemas de drenaje, taludes no estabilizados que originan frecuentes interrupciones del tráfico, con los consiguientes perjuicios para la economía de la región y de los usuarios, incrementando sustancialmente los costos de operación de los vehículos que transitan por la carretera.
- ✓ La urgencia de mejorar las condiciones de vida, a través de la comunicación e integración de los grupos de bajos ingresos económicos del sur Boliviano, incorporándolos a la economía nacional.
- ✓ La necesidad de mejorar las condiciones de ocupación e integración territorial.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA EN ESTUDIO

La vía carretera Puerta del Chaco – Villa Montes atraviesa las poblaciones del departamento de Tarija, conectándose las provincias: Cercado, O'Connor y Gran Chaco, dentro los municipios: Cercado, Entre Ríos y Villa Montes, ligando éstas con las comunidades:

✓ Junacas, Abra el Cóndor, Piedra Larga, Canaletas, El Tambo, Pinos, Narváez, San Diego Sur, Castellón, El Badén, Entre Ríos, Pajonal, San Simón, Sereré, Beretí, Tacuarandí, Cañadas, Lagunitas, Palos Blancos, Agua Hedionda, Timboycito, El Chorro y Villa Montes con una longitud total de 200 Km. aproximadamente.

Para un mejor desarrollo técnico, y de acuerdo a los estudios existentes, el proyecto ha sido dividido en cuatro tramos, los mismos que se mencionan a continuación:

✓ Puerta del Chaco – Canaletas

✓ Canaletas – Entre Ríos (Variante): Canaletas, Gareca, Moreta, Las Lomas, Entre Ríos.

✓ Entre Ríos – Palos Blancos

✓ Palos Blancos – Villa Montes

Canaletas - Entre Ríos (Variante): La variante comienza también a 200 m de la pensión Membrillos (Canaletas), para luego cruzar el río canaletas con un puente de 30 m de luz, siguiendo una dirección Nor Este recorriendo la margen derecha del río Tambo.

El trazo se desarrolla en forma paralela a los Ríos Tambo y Santa Ana hasta llegar a Entre Ríos, esta zona es muy accidentada con presencia de Farallones verticales en las proximidades del Kilómetro 10.

FIGURA 4.1 UBICACIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO



4.3.1 CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EN ESTUDIO

Poblaciones: El tramo Canaletas – Entre Ríos atraviesa las siguientes poblaciones:

Variante 1: Canaletas, Gareca, Moreta, Las Lomas, Entre Ríos.

Clima: Refiriéndonos al clima para el tramo Puerta del Chaco-Villa Montes se emplea la clasificación de Thornthwaite para la zona de estudio en carreteras de: sub-húmeda a húmeda y semiárida a árida; éstas fueron descritas ya en los sub-tramos del estudio de cuencas.

El clima está definido dentro el área de estudio vial tramo: Puerta del Chaco-Villa Montes por las variaciones topográficas existentes; oscilaciones de las medias anuales entre – 9.5 grados centígrados en el mes de agosto registro estación de Tarija (mínimo)

y Villa Montes alcanza hasta 48.5 grados centígrados en los meses de noviembre, diciembre y enero (máximo).

Vegetación: La vegetación del tramo vial Puerta del Chaco-Villa Montes se describe de acuerdo a los rasgos morfológicos observados en la topografía, climatología y geología; con estas consideraciones y desde este punto de vista, el sector caminero a sido dividida en cinco sub-sectores.

4.3.2 CONSIDERACIONES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICAS.

Se ha realizado el mapeo geológico-geotécnico de superficie al tramo comprendido entre las poblaciones de Canaletas y Entre Ríos, es decir entre las progresivas de 0+000 a 25+060.

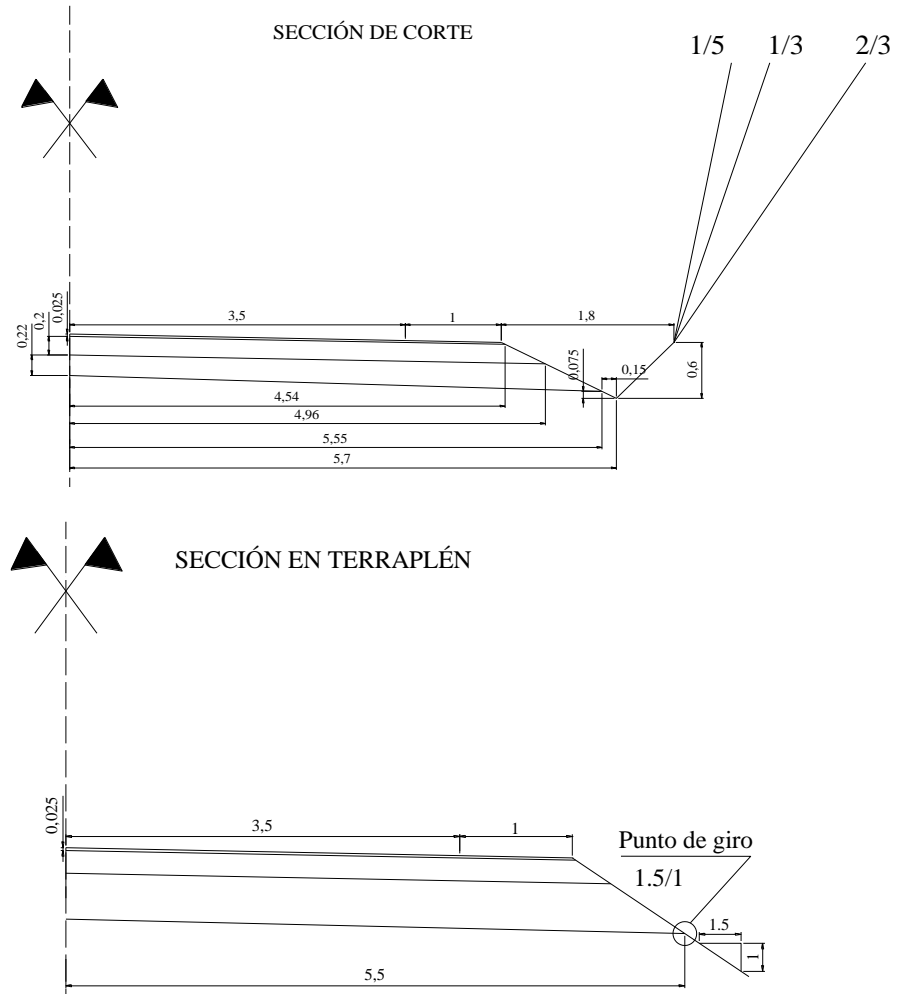
Este mapeo ha permitido realizar de forma preliminar la caracterización geológica del tramo de estudio, la misma que ha servido como un parámetro para recomendar la inclinación y la altura de los cortes de taludes a lo largo de todo el trazo, la caracterización a detalle se la realizará en la medida que los trabajos de excavación de los respectivos cortes de taludes se vayan realizando.

4.3.3 Taludes de corte y terraplén

De acuerdo al estudio Geológico y geotécnico se utilizaron los taludes de corte, dónde el talud predominante en la carretera es 2H: 3V, seguido de 1H: 3V alcanzando inclinaciones de 1H/5V, cuando las características mecánicas de la roca lo permiten. En cuanto al talud de terraplén se adoptó la inclinación de 1.5H:1V.

Las figuras siguientes muestran las secciones típicas empleadas en el ajuste del diseño, para los casos de corte y terraplén.

Figura 4.2 SECCIÓN TRANSVERSAL DE CORTE Y TERRAPLEN

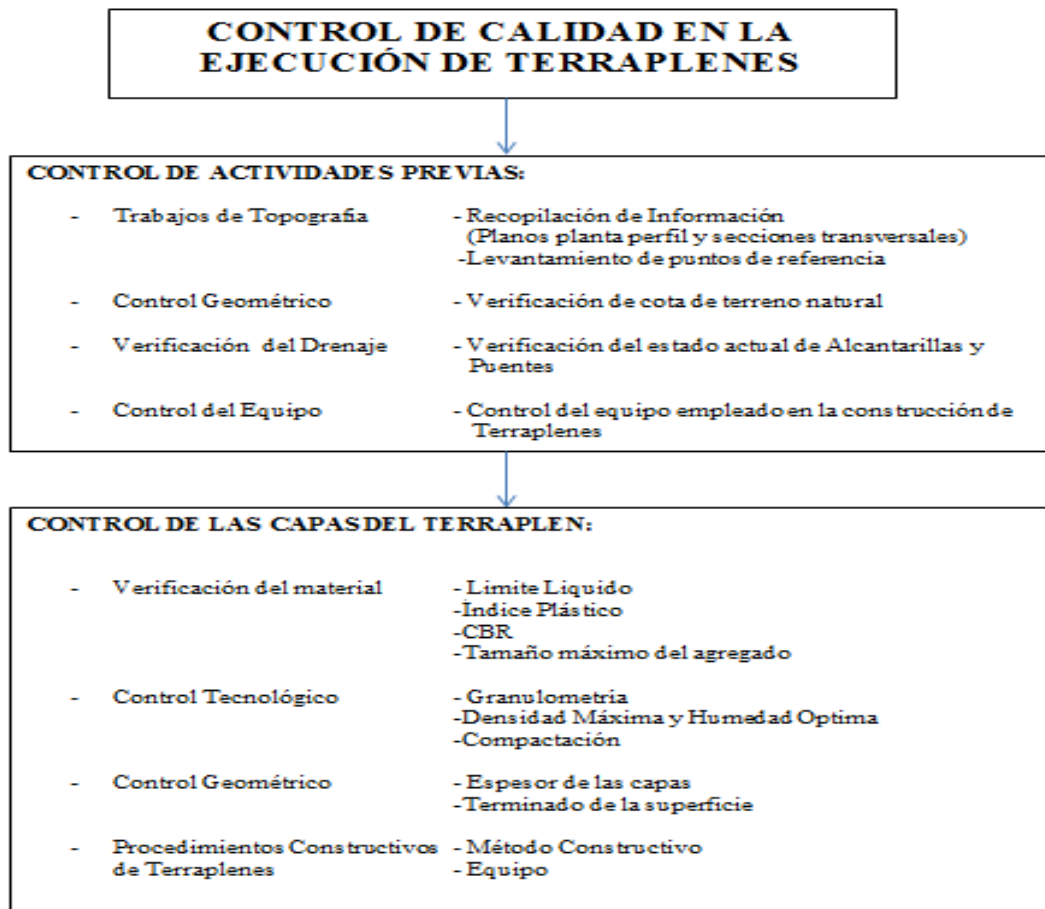


4.4 ORGANIZACIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD DEL PROYECTO

A continuación se presenta una aplicación del “Procedimiento de control de calidad”, la cual está orientada a establecer el control tecnológico y geométrico propuesto.

Como parte central del estudio, se evalúa lo acontecido en el proyecto de acuerdo a definiciones y métodos establecidos en los capítulos precedentes.

FIG. 4.3. METODOLOGÍA DE CONTROL



4.5.- CONTROL DE ACTIVIDADES PREVIAS

Para fines de aplicación se muestra a continuación la aplicación de la metodología de control de calidad en la ejecución del terraplén ubicado en la Progresiva 20+920 a 20+970.

4.5.1.- TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA

En primera instancia el control topográfico del tramo comprendió el estacado, partiendo de un punto fijo de referencia o BM y considerando las mismas progresivas del proyecto, se procedió a anotar en lugar visible las progresivas a lo largo de la carretera.

Los planos del proyecto se encuentran en el anexo. La sección transversal de diseño se muestra en la figura 4.2

4.5.2. CONTROL GEOMÉTRICO

El control geométrico consistió en la verificación de las cotas del terreno natural. Los resultados obtenidos de los niveles del terreno natural se los comparó con los presentados en los planos.

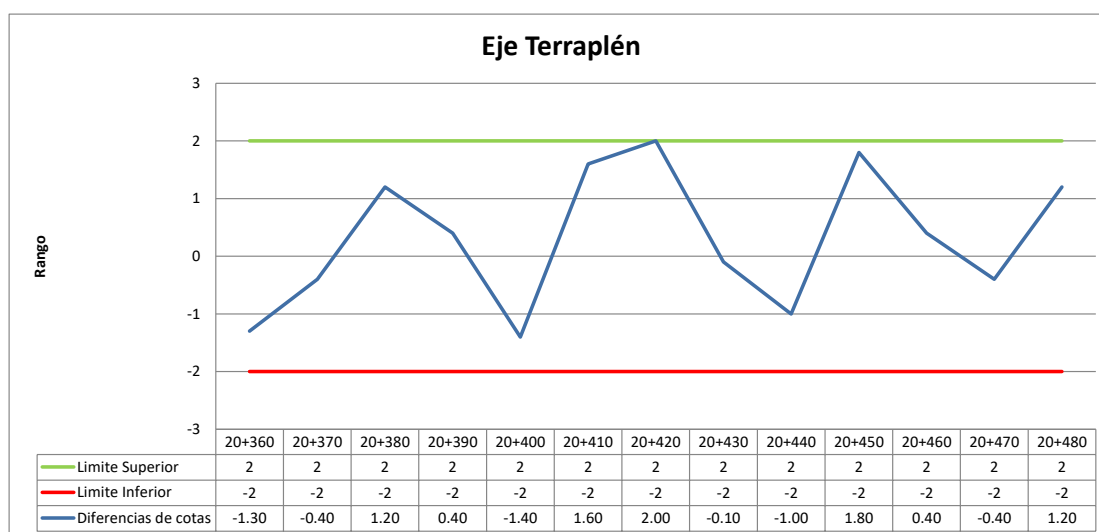
Esta actividad es muy importante para llevar un mayor control del movimiento de tierras.

TABLA N° 4.1 CONTROL DE COTAS EJE TERRAPLEN

DISEÑO Vs CAMPO

Prog.	Eje		Dif. (cm)
	Diseño	Campo	
20+360	1296.499	1296.512	-1.30
20+370	1295.823	1295.827	-0.40
20+380	1295.059	1295.047	1.20
20+390	1294.520	1294.516	0.40
20+400	1293.825	1293.839	-1.40
20+410	1293.233	1293.217	1.60
20+420	1292.582	1292.562	2.00
20+430	1292.036	1292.037	-0.10
20+440	1291.623	1291.633	-1.00
20+450	1291.986	1291.968	1.80
20+460	1292.639	1292.635	0.40
20+470	1296.684	1296.688	-0.40
20+480	1300.683	1300.671	1.20

**FIG. 4.4. CARTA DE CONTROL DE TOPOGRAFÍA
COTAS EJE TERRAPLEN**



4.5.3.- VERIFICACIÓN DEL DRENAJE

El control del drenaje en este proyecto consiste en hacer un relevamiento de la ubicación y estado de alcantarillas y puentes en los tramos a controlar la ejecución de terraplenes. En este tramo no se presentó ninguna obra de arte.

Es primordial tomar en cuenta el control de esta actividad debido a que requiere tiempo y recursos económicos que deben ser tomados en cuenta para que la construcción del terraplén tenga una buena planificación y no sea perjudicada.

4.5.4.- CONTROL DEL EQUIPO

Luego de realizado el control topográfico del terreno natural se procedió a controlar el equipo necesario para efectivizar la construcción de terraplenes, tomando en cuenta el equipo para carga, transporte del material y ejecución de los terraplenes, considerando el estado de funcionamiento del equipo. Esta actividad será descrita con más detalle más adelante.

4.6.- CONTROL DE EJECUCIÓN DE TERRAPLENES

La provisión y colocación de terraplenes se basaron sobre todo en ensayos de control de la compactación.

El material utilizado para la conformación de los terraplenes fueron de banco cuyos resultados de los ensayos de Humedad Natural, Índice de plasticidad, y el Proctor para realizar la compactación se presentan en el anexo, y cuyos resultados fueron aceptados.

4.6.1.- CONTROL DE LAS CAPAS DE TERRAPLENES

4.6.1.1.- VERIFICACIÓN DEL MATERIAL

De acuerdo a especificación indica:

Los materiales para la conformación de los terraplenes deben tener las características especificadas a continuación, de modo a permitir la construcción de un macizo estable y adecuado soporte al pavimento.

Los materiales para recuperación de terrenos erosionados serán los indicados por el SUPERVISOR y en lo posible serán constituidos por el aprovechamiento de materiales destinados a depósito de cortes.

Cuerpo del terraplén.

En la ejecución del cuerpo de los terraplenes se utilizarán suelos con CBR igual o mayor que 4% y expansión máxima de 4%, correspondientes al 95% para suelos granulares con IP menor o igual a 6 y 90% para suelos finos con IP mayor 6 de la densidad seca máxima del ensayo AASHTO T-180-D y para el ensayo AASHTO-T193.

La expansión será determinada tomando en el ensayo indicado la sobrecarga mínima compatible con las condiciones de trabajo futuro del material, previo conocimiento y aprobación del SUPERVISOR.

Capa superior de los terraplenes.

Los 30 cm. superiores de los terraplenes o de los cortes deben ser conformados o presentar materiales con CBR mayor o igual a 7% y expansión menor a 2%, correspondiente al 95% de la densidad seca máxima del ensayo AASHTO T-180 y para el ensayo AASHTO T-193.

Los resultados de los materiales empleados para la construcción del terraplén Prog.
20+360 a 20+480 son los siguientes:

TABLA 4.2 VERIFICACIÓN DEL MATERIAL

TERRAPLEN PROG. 20+360 – 20+480

Cap a	Progr.		Long. mts.	Carril	Prof. (cm.)	Granulometría T-11-27				Ím. Atterberg T-89-90			Clasif. AASHTO	Proctor T-180-A		C. B. R. T-193			Exp. %	Proced. material
	DE	A				Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	L.L.	I.P.	I.G.		D. Máx.	W. Opt	95%	98%	100%		
1ª	20+360	20+480	120	P/c	20.0	96.8	95.2	81.9	22.5	15.2	0.0	0	A - 2 - 4	2065	9.2	15.5	22.5	29.5	0.0	Mat. extr. de prog. 20+140
2ª	20+360	20+480	120	P/c	20.0	98.8	97.8	93.5	43.0	20.5	4.4	6	A - 4	2085	9.6	11.5	17.0	22.0	1.3	Mat. extr. de prog. (R-37) y (E-38)
3ª	20+360	20+480	120	P/c	20.0	100.0	100.0	99.4	59.1	20.0	5.6	5	A - 4	2112	9.2	5.5	8.2	10.7	1.9	Mat. extr. de prog. 20+000 a 20+140
4ª	20+360	20+480	120	P/c	20.0	96.8	95.2	81.9	22.4	15.2	0.0	0	A - 2 - 4	2065	9.2	15.5	22.5	29.5	0.0	Mat. extr. de prog. 20+000 a 20+170
5ª	20+360	20+480	120	P/c	20.0	100.0	99.8	99.7	24.9	15.9	0.0	0	A - 2 - 4	1984	10.6	21.0	24.5	27.0	0.0	Mat. extr. de prog. 19+840 a 20+000
6ª	20+360	20+480	120	P/c	20.0	100.0	99.2	96.3	34.9	18.4	0.0	0	A - 2 - 4	1984	9.5	15.0	30.0	51.0	0.0	Mat. de acopio
7ª	20+360	20+480	120	P/c	20.0	100.0	99.2	96.3	34.9	18.4	0.0	0	A - 2 - 4	1984	9.5	15.0	30.0	51.0	0.0	Mat. de acopio
8ª	20+360	20+480	120	P/c	20.0	100.0	99.2	96.3	34.9	18.4	0.0	0	A - 2 - 4	1984	9.5	15.0	30.0	51.0	0.0	Mat. de acopio
9ª	20+360	20+480	120	P/c	20.0	100.0	99.2	96.3	34.9	18.4	0.0	0	A - 2 - 4	1984	9.5	15.0	30.0	51.0	0.0	Mat. de acopio
S/R.	20+360	20+480	120	P/c	20.0	100.0	98.8	96.1	31.8	17.1	0.0	0	A - 2 - 4	2012	9.2	18.0	30.0	44.0	0.0	Mat. de acopio
S/R.	20+360	20+480	120	P/c	20.0	100.0	99.6	97.6	32.9	16.1	0.0	0	A - 2 - 4	1977	10.1	17.0	24.5	31.0	0.0	Mat. de acopio
S/R.	20+360	20+480	120	P/c	20.0	100.0	99.6	96.5	37.1	18.1	0.0	0	A - 4	2000	9.9	17.5	26.0	33.5	0.0	Mat. de acopio

Como se puede observar en la tabla anterior, el material empleado para el terraplén cumple especificaciones técnicas para suelos granulares:

- Cuerpo del Terraplén → CBR 18% > 4%
Expansión 0.2% < 4%
IP 0,0 < 6
- Capa superior del Terraplén → CBR 15% > 7%
Expansión 0.0% < 2%
IP 0,0 < 6

4.6.1.2.- CONTROL DENSIDAD MAXIMA Y HUMEDAD ÓPTIMA

Una vez establecido el tipo de material para la ejecución de terraplenes se procedió a la evaluación de la humedad óptima con respecto a la humedad obtenida en campo de acuerdo a los límites de control indicado en las especificaciones técnicas del proyecto.

Para fines de aplicación se presenta los resultados del Terraplén ejecutado en la progresiva 20+360 carril derecho:

Los ensayos realizados de densidad máxima mediante AASHTO T-180-D y su respectiva humedad, con respecto a la densidad de campo se encuentran tabulados en la Tabla 4.3 donde se puede apreciar el resumen de los ensayos ejecutados para el mencionado tramo en estudio.

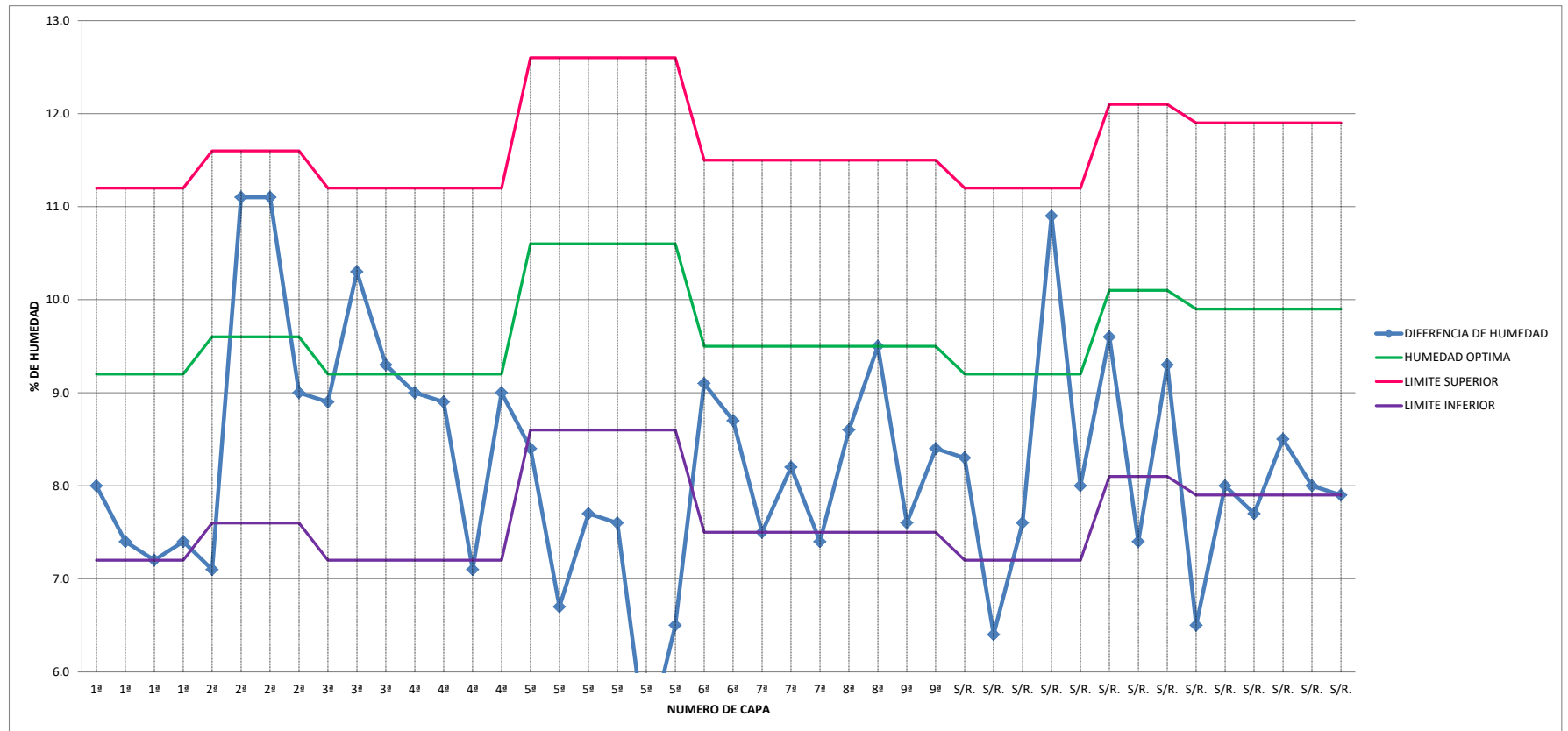
Se elaboró las cartas de control de calidad y se muestra de manera explícita en la Fig. 4.5 los resultados obtenidos para luego poder emitir las sugerencias correspondientes en el proceso constructivo. Este gráfico muestra de manera sistemática las humedades

obtenidas en campo con respecto a la humedad obtenida en laboratorio, con su respectiva tolerancia especificada de $\pm 2\%$.

TABLA 4.3 Dmax y Wop. TERRAPLEN PROG. 20+360 – 20+480

Sol N°	Fecha	Progr.		Long. mts.	Carril	Cap a	Prof. (cm.)	Clasif. AASTHO	Proctor T-180-A		Densidades in situ			N° densidades			
		DE	A						D. Máx.	W. Opt	H/C	D.Camp	%Comp.	Verif.	A	R	Total
166	18-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	1ª	20.0	A - 2 - 4	2065	9.2	8.0	2040	98.8	A			
166	18-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	1ª	20.0	A - 2 - 4	2065	9.2	7.4	2011	97.4	A	4	0	4
166	18-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	1ª	20.0	A - 2 - 4	2065	9.2	7.2	1962	95.0	A			
166	18-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	1ª	20.0	A - 2 - 4	2065	9.2	7.4	1980	95.9	A			
165	28-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	2ª	20.0	A - 4	2085	9.6	7.1	1947	93.4	R			
165	28-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	2ª	20.0	A - 4	2085	9.6	11.1	1984	95.2	A	3	1	4
165	28-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	2ª	20.0	A - 4	2085	9.6	11.1	2036	97.6	A			
165	28-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	2ª	20.0	A - 4	2085	9.6	9.0	1981	95.0	A			
170	30-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	3ª	20.0	A - 4	2112	9.2	8.9	2043	96.7	A			
170	30-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	3ª	20.0	A - 4	2112	9.2	10.3	2079	98.4	A	3	0	3
170	30-jun-06	20+360	20+480	120	P/c	3ª	20.0	A - 4	2112	9.2	9.3	2065	97.8	A			
173	4-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	4ª	20.0	A - 2 - 4	2065	9.2	9.0	1934	93.7	R			
173	4-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	4ª	20.0	A - 2 - 4	2065	9.2	8.9	1988	96.3	A	3	1	4
173	4-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	4ª	20.0	A - 2 - 4	2065	9.2	7.1	2067	100.1	A			
173	4-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	4ª	20.0	A - 2 - 4	2065	9.2	9.0	1991	96.4	A			
179	7-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	5ª	20.0	A - 2 - 4	1984	10.6	8.4	1935	97.5	A			
179	7-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	5ª	20.0	A - 2 - 4	1984	10.6	6.7	1958	98.7	A	3	0	3
179	7-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	5ª	20.0	A - 2 - 4	1984	10.6	7.7	1912	96.4	A			
179	7-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	5ª	20.0	A - 2 - 4	1984	10.6	7.6	1918	96.7	A			
179	7-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	5ª	20.0	A - 2 - 4	1984	10.6	5.2	2002	100.9	A	3	0	3
179	7-jul-06	20+360	20+480	120	P/c.	5ª	20.0	A - 2 - 4	1984	10.6	6.5	1955	98.5	A			
481	25-ene-07	20+360	20+480	120	P/c.	6ª	20	A - 2 - 4	1984	9.5	9.1	1909	96.2	A			
481	25-ene-07	20+360	20+480	120	P/c.	6ª	20	A - 2 - 4	1984	9.5	8.7	1924	97.0	A	2	0	2
481	25-ene-07	20+360	20+480	120	P/c.	7ª	20	A - 2 - 4	1984	9.5	7.5	1972	99.4	A			
481	25-ene-07	20+360	20+480	120	P/c.	7ª	20	A - 2 - 4	1984	9.5	8.2	1928	97.2	A	3	0	3
481	25-ene-07	20+360	20+480	120	P/c.	7ª	20	A - 2 - 4	1984	9.5	7.4	1950	98.3	A			
481	25-ene-07	20+360	20+480	120	P/c.	8ª	20	A - 2 - 4	1984	9.5	8.6	1978	99.7	A			
481	25-ene-07	20+360	20+480	120	P/c.	8ª	20	A - 2 - 4	1984	9.5	9.5	1907	96.1	A	2	0	2
482	26-ene-07	20+360	20+480	120	P/c.	9ª	20	A - 2 - 4	1984	9.5	7.6	1895	95.5	A			
482	26-ene-07	20+360	20+480	120	P/c.	9ª	20	A - 2 - 4	1984	9.5	8.4	1885	95.0	A	2	0	2
492	23-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 2 - 4	2012	9.2	8.3	1883	93.6	R			
492	23-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 2 - 4	2012	9.2	6.4	1895	94.2	R			
492	23-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 2 - 4	2012	9.2	7.6	1956	97.2	A	1	4	5
492	23-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 2 - 4	2012	9.2	10.9	1835	91.2	R			
492	23-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 2 - 4	2012	9.2	8.0	1891	94.0	R			
493	24-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 2 - 4	1977	10.1	9.6	1941	98.2	A			
493	24-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 2 - 4	1977	10.1	7.4	1912	96.7	A	3	0	3
493	24-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 2 - 4	1977	10.1	9.3	1894	95.8	A			
495	26-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 4	2000	9.9	6.5	1936	96.8	R			
495	26-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 4	2000	9.9	8.0	1944	97.2	A			
495	26-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 4	2000	9.9	7.7	1846	92.3	R			
495	26-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 4	2000	9.9	8.5	1908	95.4	A	4	2	6
495	26-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 4	2000	9.9	8.0	1916	95.8	A			
495	26-feb-07	20+360	20+460	100	P/c.	S/R.	20	A - 4	2000	9.9	7.9	1904	95.2	A			

FIG. 4.5. CARTAS DE CONTROL: HUMEDAD EN CAMPO



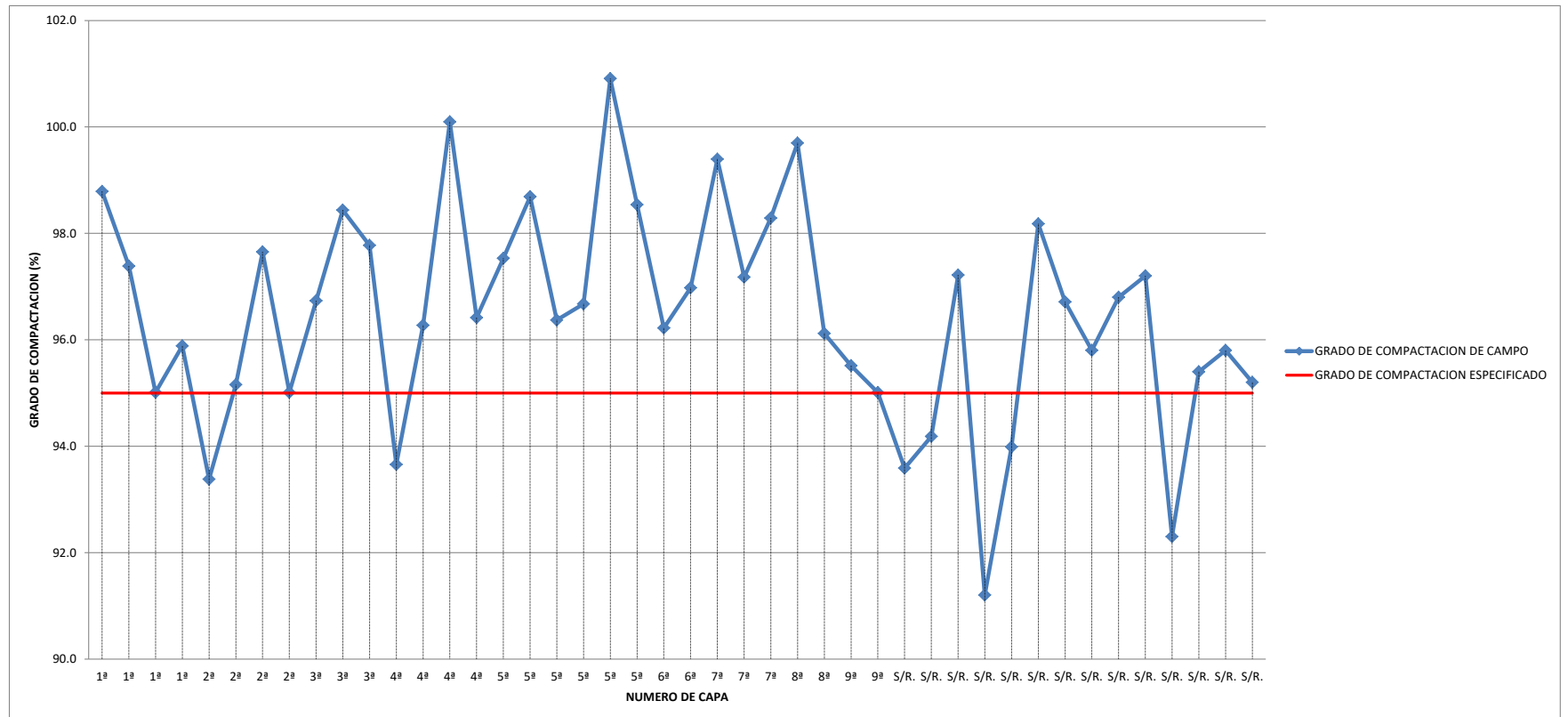
4.6.1.3. CONTROL COMPACTACIÓN SUBRASANTE

Tomando en cuenta el nivel de control y el nivel de confianza se procedieron a la obtención de muestras de densidad de la subrasante mediante el procedimiento del “cono de arena”, en las mismas progresivas planteadas para el proyecto. La figura 4.6 muestra los resultados obtenidos del control de compactación en campo.

Obtenido el grado de compactación de las muestras del tramo en estudio, se comparó con el porcentaje de control adoptado según especificaciones del proyecto como mínimo al 95%, con respecto a la densidad máxima obtenida en laboratorio y se preparó la siguiente figura para tener una mejor visualización de los resultados obtenidos.

Los tramos cuyos valores son inferiores a lo especificado fueron rechazados y re compactados hasta obtener su aprobación.

FIG. 4.6. CONTROL GRÁFICO DE COMPACTACIÓN



4.6.2.- CONTROL GEOMÉTRICO SUBRASANTE

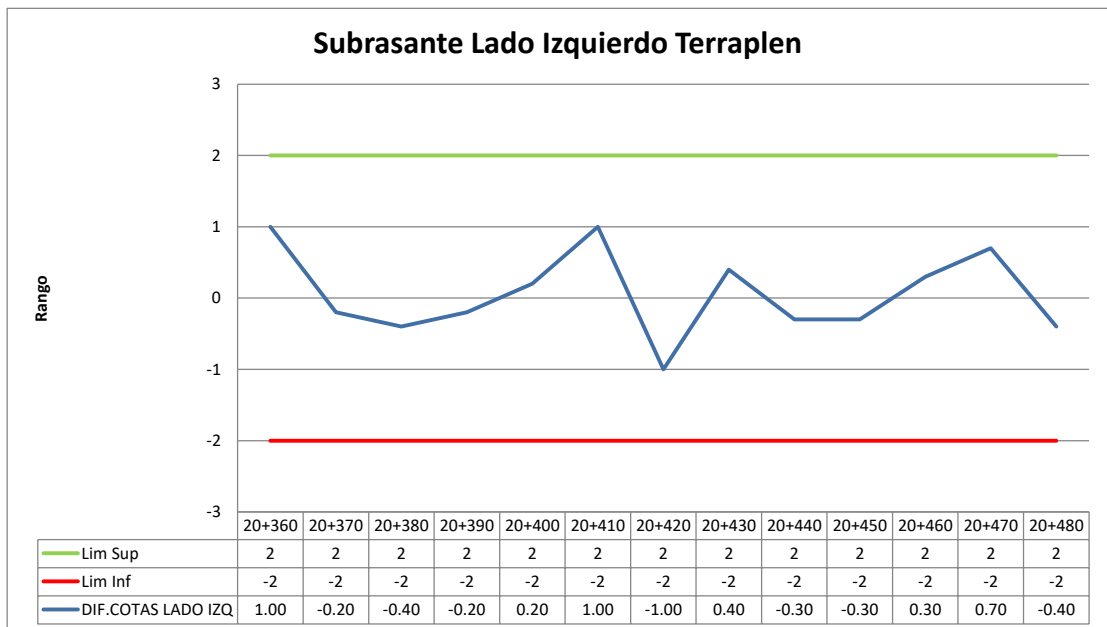
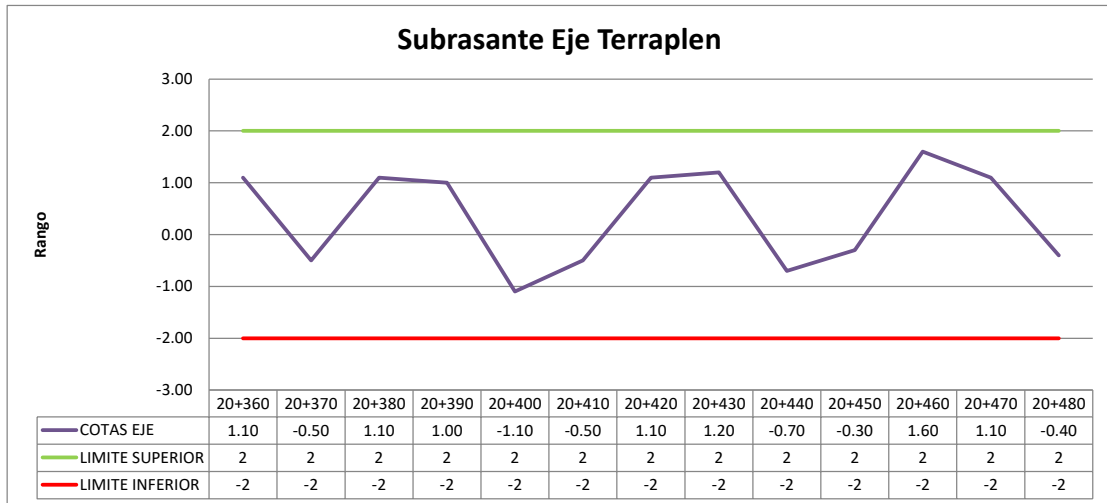
El control geométrico de acuerdo a lo expuesto en el procedimiento está basado en las tolerancias admisibles de diferencias de acabado de las capas que conforman el terraplén. El procedimiento práctico de los datos recabados en campo para esta capa se encuentra tabulado en la Tabla 4.4.

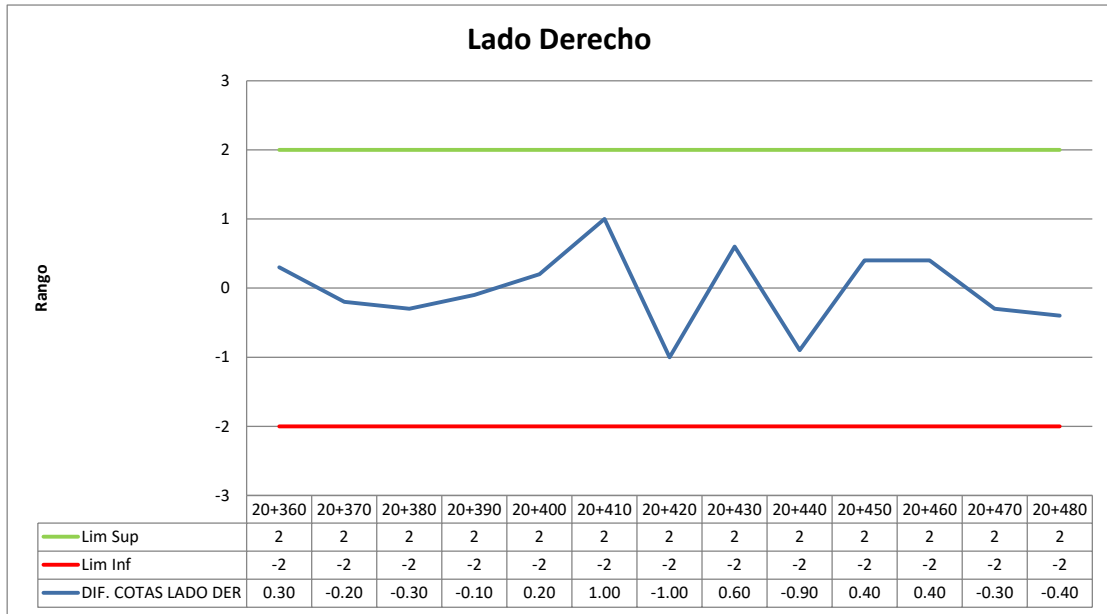
**TABLA N° 4.4. CONTROL DE COTAS SUBRASANTE EJE TERRAPLEN
DISEÑO Vs CAMPO**

Prog.	Lado Izquierdo		Dif. (cm)	Dist.	Eje		Dif. (cm)	Lado Derecho		Dif. (cm)	Dist.
	Diseño	Campo			Diseño	Campo		Diseño	Campo		
20+360	1296.248	1296.238	1.00	6.00	1296.398	1296.387	1.10	1296.248	1296.245	0.30	6.00
20+370	1296.260	1296.262	-0.20	6.00	1296.410	1296.415	-0.50	1296.260	1296.262	-0.20	6.00
20+380	1296.241	1296.245	-0.40	6.00	1296.391	1296.380	1.10	1296.241	1296.244	-0.30	6.00
20+390	1296.190	1296.192	-0.20	6.00	1296.340	1296.330	1.00	1296.190	1296.191	-0.10	6.00
20+400	1296.107	1296.105	0.20	6.00	1296.257	1296.268	-1.10	1296.107	1296.105	0.20	6.00
20+410	1295.993	1295.983	1.00	6.00	1296.143	1296.148	-0.50	1295.993	1295.983	1.00	6.00
20+420	1295.847	1295.857	-1.00	6.00	1295.997	1295.986	1.10	1295.847	1295.857	-1.00	6.00
20+430	1295.669	1295.665	0.40	6.00	1295.819	1295.807	1.20	1295.669	1295.663	0.60	6.00
20+440	1295.460	1295.463	-0.30	6.00	1295.610	1295.617	-0.70	1295.460	1295.469	-0.90	6.00
20+450	1295.224	1295.227	-0.30	6.00	1295.374	1295.377	-0.30	1295.224	1295.220	0.40	6.00
20+460	1294.987	1294.984	0.30	6.00	1295.137	1295.121	1.60	1294.987	1294.983	0.40	6.00
20+470	1294.749	1294.742	0.70	6.00	1294.899	1294.888	1.10	1294.749	1294.752	-0.30	6.00
20+480	1294.511	1294.515	-0.40	6.00	1294.661	1294.665	-0.40	1294.511	1294.515	-0.40	6.00

Con los resultados obtenidos podemos obtener las cartas de control Fig. 4.7. Para una mejor visualización de los resultados, tomando en cuenta que la tolerancia para este control es de ± 2 cm.

FIG. 4.7. CARTAS DE CONTROL GEOMÉTRICO SUBRASANTE





A continuación se presenta un resumen general de toda la subrasante de la variante Canaletas - Entre Ríos.

TABLA 4.5. RESUMEN DE ENSAYOS DE SUELO DE SUBRASANTE 0+300-20+140

Progr.	Progr.	Long.	Ubic.	Capa	Granulometría T-11-27				Lím. Atterberg T-89-90			Clasif. AASTHO	Proctor T -180-A		C. B. R. T-193			Exp.%
					Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	L.L.	I.P.	I.G.		D. Máx.	W. Opt.	95%	98%	100%	
DE	A	mts.	Carril															
0+300	0+500	200	eje	1	84.5	67.8	56.9	50.8	43.6	7.4	3	A-5 (3)	1437	27.5	28.5	33.0	35.0	0.40
0+500	0+620	120	eje	1	99.9	99.3	97.9	90.7	42.0	15.6	11	A-7-6 (11)	1671	18.2	1.3	1.7	2.0	7.90
0+620	0+780	160	eje	1	87.0	74.9	60.7	44.2	24.1	4.9	2	A-4 (2)	1954	12.5	17.5	28.0	38.0	0.60
0+800	0+880	80	eje	1	81.7	67.7	54.2	41.5	24.0	3.2	1	A-4 (1)	1891	14.4	18.5	21.5	24.0	0.20
1+000	1+100	100	eje	1	98.3	83.7	73.1	62.7	23.6	7.4	6	A-4 (6)	1900	12.9	20.0	26.0	31.5	0.90
2+000	Roca																	
3+000	Roca																	
4+000	Túnel																	
5+000	Roca																	
6+000	Roca																	
7+000	Roca																	
8+000	Roca																	
9+000	Roca																	
10+000	Roca																	
11+000	Roca																	
12+000	Roca																	
13+000	Roca																	
14+000	Roca																	
15+000	Roca																	
16+000	Roca																	
17+000	Roca																	
18+000	18+650	650	eje	1	100.0	96.0	77.1	16.3	20.8	0.0	0	A -2-4 (0)	1.923	9.0	18.0	34.0	52.0	0.0
18+660	18+900	240	eje	1	100.0	99.9	95.6	32.9	20.8	0.0	2	A - 4 (2)	2.043	8.6	18.0	34.0	52.0	0.00
19+020	19+100	80	eje	1	100.0	100.0	83.7	10.1	20.8	0.0	0	A-2-4 (0)	1.913	7.9	19.0	37.0	57.0	0.00
19+100	19+250	150	eje	1	100.0	100.0	96.9	37.5	17.4	0.5	0	A -4- (0)	2.056	10.0	23.0	29.5	35.0	0.98
19+500	19+720	320	izq.	3	100.0	100.0	97.3	28.3	18.5	0.0	0	A-2-4 (0)	1976	9.2	32.0	58.0	84.0	0.00
19+840	20+000	160	izq	1	100.0	99.8	99.7	24.9	15.9	0.0	0	A-2-4 (0)	1984	10.6	24.0	24.5	27.0	0.00
20+000	20+140	140	der	1	100.0	100.0	99.4	59.1	20.0	5.6	5	A-4 (5)	2112	9.2	5.5	8.2	10.7	1.90

20+140	20+360	220	eje	1	100.0	100.0	100.0	71.6	21.6	10.2	7	A-6 (7)	1998	11.8	2.7	3.9	5.0	3.30
--------	--------	-----	-----	---	-------	-------	-------	------	------	------	---	---------	------	------	-----	-----	-----	------

RESUMEN DE ENSAYOS DE SUELO DE SUBRASANTE 20+480-24+900

Progr.	Progr.	Long.	Ubic.	Capa	Granulometría T-11-27				Lím. Atterberg T-89-90			Clasif. AASTHO	Proctor T -180-A		C. B. R. T-193			Exp.%	
					Nº 4	Nº 10	Nº 40	Nº 200	L.L.	I.P.	I.G.		D. Máx.	W. Opt.	95%	98%	100%		
DE	A	mts.	Carril																
20+480	20+580	100	eje	1	100.0	100.0	99.7	63.2	2.1	5.2	6	A-4 (6)	1968	10.9	2.8	4.0	5.2	3.50	
20+620	20+700	80	eje	1	100.0	100.0	99.8	59.5	20.7	2.9	5	A-4 (5)	2049	10.4	15.0	20.5	25.5	0.50	
20+700	20+860	160	izq.	1	100.0	100.0	99.9	63.8	21.0	4.4	6	A-4 (6)	2059	10.2	9.0	11.0	12.8	1.90	
20+980	21+180	200	der.	1	100.0	99.8	98.8	32.0	18.4	0.0	0	A-2-4 (0)	1965	11.7	16.0	25.0	34.0	0.00	
20+980	21+180	200	eje	1	100.0	100.0	98.8	50.2	20.7	3.8	3	A-4 (3)	2004	11.7	19.0	25.0	30.0	0.50	
21+180	21+320	140	izq.	1	100.0	99.9	98.9	42.5	19.5	2.4	2	A-4 (2)	2013	11.6	18.0	21.5	24.5	0.60	
21+380	21+540	160	izq.	1	100.0	99.7	97.9	37.4	19.2	0.2	0	A-4 (0)	2036	10.8	25.0	35.0	45.0	0.70	
21+540	21+650	110	eje	1	100.0	100.0	99.8	93.3	26.5	7.1	8	A-4 (8)	2048	10.4	1.9	2.4	2.9	6.10	
21+540	21+650	110	eje	12	100.0	99.9	39.4	23.2	15.8	0.0	0	A-2-4 (0)	1963	11.5	19.0	31.0	43.0	0.00	
21+850	21+910	60	eje	1	100.0	100.0	99.9	59.6	23.0	4.3	5	A-4 (5)	1972	12.2	3.8	4.6	5.2	3.60	
22+000	22+140	140	eje	1	100.0	100.0	99.3	28.9	17.2	0.0	0	A-2-4 (0)	1992	10.6	25.0	34.0	42.0	0.00	
22+140	22+200	60	eje	1	100.0	99.9	99.3	27.9	17.2	0.0	0	A-2-4 (0)	1966	11.3	19.0	25.0	30.0	0.00	
22+200	22+300	100	eje	1	100.0	100.0	99.8	32.7	16.7	0.0	0	A-2-4 (0)	1968	11.9	23.0	30.5	36.5	0.10	
22+300	22+420	120	eje	1	100.0	100.0	99.6	71.3	25.2	5.4	7	A-4 (7)	1959	12.5	5.2	5.7	6.1	4.40	
22+570	22+680	110	eje	1	100.0	100.0	99.4	77.6	29.3	8.2	8	A-4 (8)	1973	11.9	2.3	2.8	3.3	5.80	
22+730	22+790	60	eje	1	100.0	100.0	99.5	51.8	24.3	4.0	3	A-4 (3)	1973	11.5	4.8	6.8	7.9	2.70	
22+900	23+080	180	eje	1	100.0	100.0	98.4	26.6	18.8	0.0	0	A-2-4 (0)	1968	11.3	22.0	29.0	35.0	0.00	
23+020	-	100	eje	1	100.0	100.0	100.0	100.0	17.5	0.0	0	A-2-4 (0)	1932	10.1	31.0	50.0	70.0	0.00	
23+110	-	110	izq.	1	100.0	99.8	98.0	33.7	17.2	0.2	0	A-2-4 (0)	2012	10.2	17.0	26.0	35.0	0.20	
23+130	23+180	50	eje	1	100.0	100.0	99.8	41.0	21.0	0.9	1	A-4 (1)	1968	11.3	18.5	29.0	38.0	0.20	
23+240	23+360	120	eje	1	100.0	99.8	99.0	28.5	18.4	0.2	0	A-2-4 (0)	1966	11.7	18.0	26.0	34.5	0.10	
23+440	23+480	40	eje	1	100.0	99.3	98.3	51.8	24.3	4.9	3	A-4 (3)	1982	11.5	3.6	4.5	5.2	2.70	
23+540	23+600	60	eje	1	100.0	100.0	98.9	38.4	19.3	1.2	1	A-4 (1)	2000	10.9	18.0	26.5	35.5	0.10	
23+600	23+660	60	eje	1	100.0	100.0	99.0	34.4	21.0	0.7	0	A-2-4 (0)	1957	11.4	21.0	33.0	45.0	0.10	
23+690	23+750	60	eje	1	100.0	100.0	100.0	83.4	40.2	15.6	10	A-7-6 (10)	1886	14.1	2.3	2.7	3.0	2.50	
23+860	23+920	60	eje	1	100.0	100.0	98.5	40.6	18.0	2.1	1	A-4 (1)	2011	10.9	16.0	28.0	39.0	1.00	
24+580	24+700	120	eje	2	100.0	100.0	96.9	31.7	18.8	0.6	0	A-2-4 (0)	1999	10.8	23.0	32.0	40.0	0.00	
24+720	24+900	180	eje	2	100.0	100.0	98.8	24.9	18.5	0.0	0	A-2-4 (0)	1920	11.4	20.0	30.0	40.0	0.00	

24+900	25+050	150	izq.	1	100.0	99.9	97.7	26.0	18.2	0.0	0	A-2-4 (0)	1935	11.1	21.0	31.0	42.0	0.00
--------	--------	-----	------	---	-------	------	------	------	------	-----	---	-----------	------	------	------	------	------	------

4.7. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVOS DE TERRAPLENES.-

TRAMO DE TERRAPLÉN PROGRESIVAS 1+860 – 1+920

Los métodos constructivos varían de acuerdo a las características de la zona y materiales que se disponen para ejecutar y realizar los trabajos.

Los trabajos que se realizaron en el tramo de estudio en la ejecución de terraplén son los siguientes:

- a) Según las secciones transversales y la verificación en campo se tiene una altura de 12 m para llegar al nivel de la subrasante además el pie del terraplén está cercano al lecho del río. Debido a la altura del terraplén poner capas de 20 cm longitudinalmente a la carretera resulta muy moroso, además por encontrarse cercano al lecho del río se vio conveniente de colocar pedraplén para que la estructura trabaje mejor y sea más resistente a erosión y humedad.
- b) Lo primero que se realizó fue la limpieza de la zona, levantando todo material orgánico y maleza que se encontraba a la altura del pie de terraplén.
- c) Como se vio conveniente colocar un pedraplén pero en las especificaciones técnicas del proyecto no existía ese ítem, se lo escribió en el Libro de Órdenes el cual fue aceptado por el supervisor para ejecutar el pedraplén como se ve en la figura.



Figura 4.8. Construcción de pedraplén progresiva 1+880

- d) Se colocó capas de piedra (roca producto de la detonación) de una altura aproximada de 70 a 80 cm de espesor el cual fue transportado mediante volquetas extendido a apisonado con un Tractor Oruga KOMATSU D65EX-15, una vez apisonado y nivelada la capa se colocó y extendió sucesivamente las posteriores capas.



Figura 4.9. Extendido y Apisonado progresiva 1+880

- e) Siempre es conveniente verificar las cotas de nivel y ancho del pie de pedraplén cada 2 capas o sea de 1.50 m de altura para que conservemos el ancho y talud según vamos construyendo los niveles del pedraplén y así obtener una estructura uniforme y compacta.

- f) Después de cada capa de piedras se colocaba una capa de 30cm para nivelar con material del tamaño de aproximadamente de 8 a 10 cm, el cual servía para cubrir el espacio entre rocas que existía para que sea más fácil al tractor oruga apisonar. Este trabajo del pedraplén se realizó hasta llegar a -3 m para llegar a nivel de la subrasante.



Figura 4.10. Nivelado de capa de Pedraplén progresiva 1+880

- g) Desde el nivel de -2.00 m debajo del nivel de subrasante se colocó capas de material más fino con espesor de 20 a 25 cm de altura, para cada capa se debe verificar el control tecnológico de laboratorio:
- Un ensayo de compactación para la determinación de la densidad máxima según el método AASHTO T-180-D para cada 1.000 m³ del mismo material del cuerpo del terraplén.
 - Un ensayo de compactación para la determinación de la densidad máxima según AASHTO T-180-D para cada 200 m³. de la capa final del terraplén (0.30 cm).

- Un ensayo para la determinación de la densidad en sitio para cada 100 m lineales del cuerpo compactado del terraplén, correspondiente al ensayo de compactación referido en a).
- Un ensayo para la determinación de la densidad en sitio para cada 100 metros lineales de la capa final de terraplén (0.30 cm), alternadamente en el eje y bordes, correspondiente al ensayo de compactación referido en b).
- Un ensayo de granulometría según AASHTO T-27, límite líquido según AASHTO T-89 y límite de plasticidad según AASHTO T-90, para el cuerpo del terraplén y para cada grupo de diez muestras homogéneas, sometidas al ensayo de compactación referido en a).
- Un ensayo de granulometría según AASHTO T-27, límite líquido según AASHTO T-89 y límite de plasticidad según AASHTO T-90, para las capas finales de terraplén y para cada grupo de tres muestras homogéneas sometidas al ensayo de compactación referido en b).
- Un ensayo de contenido de humedad para 100 metros lineales, inmediatamente antes de la compactación.
- Un ensayo del Índice de Soporte de California (CBR) (AASHTO T-193) con la energía del ensayo de compactación AASHTO T-180-D para las capas superiores del cuerpo de los terraplenes (0.30 cm) y para las capas finales de 40 cm (70 cm - 30 cm) de los terraplenes, para cada grupo de tres muestras sometidas al ensayo de compactación.
- Todos los ensayos y en la misma frecuencia para los tramos en corte.
- El número de los ensayos con excepción de los indicados en los ítems c), d) y g) podrán ser reducidos a exclusivo criterio del SUPERVISOR siempre que se verifique la homogeneidad del material.
- Para la aceptación de cada capa de terraplén serán considerados los valores individuales de los resultados.

- El SUPERVISOR orientará el control de los terraplenes para “recuperación de terrenos erosionados”, procurando su máxima simplificación.
- h) Para las capas de 20 a 25 cm se trabajó con los equipos y maquinaria como ser: camión aguatero para regar, dando la humedad optima al material, tractor agrícola para dar una mezcla homogénea, motoniveladora para conformar y nivelar, compactador de rodillo liso.



Figura 4.11. Procesando material para homogenizar.



Figura 4.12. Camión cisterna regando para tener la humedad óptima.



Figura 4.13. Compactando con rodillo liso.



Figura 4.14. Motoniveladora perfilando la capa de terraplén.



Figura 4.15. Control tecnológico de densidades método del cono.



Figura 4.16. Nivelación y control topográfico.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

La ejecución del control de calidad y la respectiva aplicación práctica en la construcción de terraplenes, muestran hasta qué punto han sido logrados los objetivos propuestos y cuál es su nivel de aplicabilidad en función de la realidad constructiva de las obras viales.

El procedimiento de control de Calidad planteado pretende desechar todas aquellas características irrelevantes que no inciden con la calidad, mecanismo efectivo, porque establece un mínimo de variables para su control respectivo.

Los procedimientos de control de calidad en la ejecución de terraplenes recomendados para su aplicación sobre los datos recolectados, una vez establecidas las reglas del control de calidad planteado, eliminan de alguna manera las acciones de carácter subjetivo, orientado al carácter más bien objetivo que encausan el control según los parámetros, que previamente establecidos rigen el procedimiento de control, ya que se basan en normas y reglas de control ya establecidas de acuerdo a la experiencia recabada en varias obras.

Pese a haber alcanzado los objetivos propuestos, corresponde aclarar que el control planteado no es una receta, sino que es una sugerencia referencial para el establecimiento de planes de control en obras viales en estricto seguimiento de las especificaciones contractuales y de acuerdo con las circunstancias prevalecientes, siempre bajo un criterio adecuado “criterio ingenieril” de los niveles de calidad exigidos para así poder efectuar los niveles de control adecuados y reales, de

manera que la exigencia no sea elevada que encarezca la obra o por el contrario sea tan baja que resulte una obra de pésima calidad.

Los ensayos de control en cada caso son establecidos por las especificaciones adoptadas contractualmente y nos son motivo de análisis ni cuestionamiento alguno, toda vez que el presente trabajo está orientado al estudio del control de calidad de una manera sencilla para la construcción de terraplenes, dando por el hecho que los procedimientos propios de laboratorio han sido adecuadamente seleccionados por las especificaciones y correctamente ejecutados.

Durante el desarrollo del presente trabajo se analizaron las características de los materiales que conforman los terraplenes y se puede concluir que el material de soporte debe ser caracterizado correctamente, pues es muy influyente en el pavimento o tratamiento a colocar.

Como se pudo evidenciar el empleo de las cartas de control resulta, un instrumento fundamental que permite apreciar objetivamente “hacia dónde va” la producción al mostrar la tendencia de la curva a permanecer dentro de los límites de control o quedar fuera de control, aspecto que confirma un diagnóstico bastante real de la situación de un determinado proceso de la producción (sea producción de materiales, compactación, etc.)

El procedimiento de control de calidad planteado, está aplicado a un proyecto que no contempla en sus especificaciones contractuales “un control de calidad” aspecto digno de resaltar que los procedimientos desarrollados en este trabajo han sido de gran beneficio para la obra en sí. Sin embargo no se desechan las fuentes de error que podrían estar capitalizadas en el factor humano o en los errores cometidos

sistemáticamente en la ejecución de los ensayos, o en la calibración, estado del material y equipos empleados, etc.

Se concluye además que es muy importante el control de calidad en terraplenes porque se observa que a la carencia de éstas, los proyectos no llegan a cumplir la vida útil para los que fueron diseñados.

RECOMENDACIONES

De lo expuesto en el presente trabajo, consideramos un “aporte” muy importante en el de haber conjuncionado aspectos y definiciones diversas, extractando de la bibliografía consultada lo más sobresaliente relacionado con el tema de control de calidad y haberlos adecuado a la formulación de un procedimiento de control de calidad en la construcción de terraplenes, en base a criterios, que de alguna manera podría formar parte de un plan de control adecuado en futuras obras.

A manera de aporte se establecen algunas recomendaciones para trabajos de esta naturaleza, la cual recurrimos al planteamiento de un esquema básico de control de calidad de acuerdo con los pasos que se indican a continuación:

- Primera acción que se debe tomar para la obtención de una buena calidad en una obra vial, en la planificación, donde debe definirse el objetivo.
- Se debe definir los niveles de control, con la respectiva adopción del nivel de confianza.
- Se deben establecer claramente y con suficiente anticipación los siguientes tres puntos fundamentales:
 1. Tablas de muestreo que deben estar orientadas a un muestreo sistemático y que permitan una interpretación rápida y sencilla de los resultados.
 2. Criterios de aceptación que deben estar basados en las reglas del control supuesto, que permitan establecer sin ambigüedades la aceptabilidad de los trabajos.

3. Acciones a tomar en caso de rechazo deberán estar claramente definidas toda vez que de estas resultarán las correcciones para la mejora del producto o en su defecto llevar a niveles críticos la calidad del producto.

Ante todo lo expuesto este esquema resumido de acuerdo al control propuesto, tendrá que ser empleado de una manera ingeniosa, y establecido por el equipo encargado del control de calidad en la ejecución de terraplenes, en el entendido que la información y comunicación está difundida entre todos los participantes de las acciones a supervisar.

El costo del control de calidad puede ser insignificante en relación a lo que se podría ahorrar si se cumpliera a cabalidad, se vería reflejado en terraplenes bien contruidos.