



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO EN OBRA DE
UN TERRAPLÉN REFORZADO CON GEOSINTÉTICOS EN EL
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA SUPERIOR VASO
ALTAÍR – VÍA EL ZANCUDO EN EL RELLENO SANITARIO LA
PRADERA**

Autor(es)

Daniel Alejandro Peláez Villa

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020**



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO EN OBRA DE UN TERRAPLÉN
REFORZADO CON GEOSINTÉTICOS EN EL PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE LA
VÍA SUPERIOR VASO ALTAIR – VÍA EL ZANCUDO EN EL RELLENO SANITARIO
LA PRADERA

Daniel Alejandro Peláez Villa

Informe de práctica
como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesores:

Juan Guillermo Jaramillo Gaviria, Ingeniero Civil
Mario Alberto Vásquez Morales, Ingeniero Civil

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental.
Medellín, Colombia
2020.

Tabla de contenido

1	Resumen	4
2	Introducción	4
3	Objetivos	6
3.1	Objetivo General.....	6
3.2	Objetivos Específicos	6
4	Marco Teórico	7
5	Metodología.....	10
6	Resultados y Análisis	12
6.1	Estudios Preliminares.....	12
6.2	Proceso Constructivo del Terraplén	16
6.2.1	Comisión de topografía.....	16
6.2.1.1	Localización y replanteo	16
6.2.2	Descapote.....	16
6.2.2.1	Desmante y Limpieza.....	16
6.2.3	Construcción de Drenajes y Subdrenajes.....	17
6.2.3.1	Excavaciones varias sin clasificar	18
6.2.3.2	Geotextil NT 3000	18
6.2.3.3	Tubería corrugada para filtro de 4"	19
6.2.3.4	Material granular para filtro.....	19
6.2.4	Geotextil.....	20
6.2.4.1	Instalación del Geotextil	20
6.2.5	Alveodren.....	22
6.2.5.1	Instalación de geodren (Alveodren).....	22
6.2.6	Llenos con material seleccionado para conformación de terraplenes... 23	
6.2.6.1	Suministro, Transporte y Almacenamiento del Material	23
6.2.6.2	Extendido del Material	23
6.2.6.3	Humectación o Aireado	24
6.2.6.4	Compactación	25
6.2.6.5	Toma de Densidades	25
6.3	Control de calidad de los materiales.....	26
6.4	Problemáticas Identificadas en el Proceso Constructivo	31
6.4.1	Zona de Veda	31
6.4.2	Lluvias.....	32
6.4.3	Maquinaria	34
7	Conclusiones.....	35
8	Referencias Bibliográficas	35

1 Resumen

El relleno sanitario La Pradera es el sitio en cual diferentes municipios del departamento de Antioquia disponen sus residuos sólidos. Altaír es el vaso que se encuentra en operación actualmente, este contaba con una vida útil de 14 años contados a partir de su adecuación en el año 2014. Actualmente se encuentra en el 90% de capacidad y se pronostica que alcanzaría su máxima capacidad en el año 2022

Para garantizar la vida útil del vaso Altaír se optó por construir una vía superior, la vía El Zancudo, por medio de la cual se ampliaría su capacidad mientras se realizan los trabajos de adecuación de La Piñuela, el nuevo vaso que entraría a operar una vez se ocupe el máximo de capacidad en Altaír.

Para llevar a cabo la construcción de la vía El Zancudo se debieron realizar diferentes actividades, una de estas es la conformación de un terraplén reforzado con geosintéticos. Al utilizar geosintéticos para reforzar este tipo de estructuras se encuentra diferentes ventajas, una de estas es que se pueden abaratar costos del proyecto al utilizar el mismo material que se extrae de los cortes y excavaciones así no sea un suelo muy bueno, la otra es que por medio de este sistema de refuerzo se logra aumentar la capacidad portante del suelo, mejorar la estabilidad interna y externa del terraplén y minimizar las deformaciones y asentamientos.

Para poder evidenciar y documentar la construcción de este terraplén reforzado, se llevaron a cabo diferentes actividades en obra como lo fueron las visitas de campo, registro fotográfico, control de instalación de materiales entre otras, logrando así llevar un registro de todos y cada uno de los trabajos necesarios para la lograr la ejecución de dicho terraplén.

2 Introducción

El relleno sanitario La Pradera (RSP) se encuentra ubicado en una de las 17 veredas del municipio de Don Matías, al norte del departamento de Antioquia, a 57 kilómetros de Medellín y a 15 kilómetros del municipio de Barbosa. Entró en operación el 6 de junio de 2003 por medio de la licencia otorgada por Corantioquia- Resolución 5288 de Julio de 2002, como respuesta al cierre del relleno sanitario Curva de Rodas y para la disposición de las basuras provenientes del municipio de Medellín y diferentes municipios del departamento de Antioquia. (epm, 2017)

Actualmente La Pradera recibe 3.100 toneladas diarias de residuos, provenientes de 37 municipios de Antioquia. Este relleno cuenta con un área de 382 hectáreas, donde

se encuentran ubicados los vasos (“porciones de terreno con una configuración requerida para recibir desechos y confinarlos de manera adecuada”) (epm,2013) La Carrilera, La Música y Altaír, los dos primeros ya llegaron a su capacidad máxima y se encuentran cerrados, este último que entró en operación el 9 de enero de 2015 es el que se encuentra en funcionamiento y alberga más de 3.087.000 toneladas de desechos (Betancur, 2019).

La adecuación del vaso Altaír se comienza en el año 2014 y al mismo tiempo empieza la construcción de la vía EL Zancudo que permitirá el acceso al vaso Altaír por su parte superior y conectará con la vía que rodea el vaso La Música, además permitirá la operación del vaso en cotas mayores a 1140 msnm. Se comienza una intervención cerca a la vía que rodea al vaso La Música, pero al presentarse deslizamientos ligado a la no necesidad inmediata de la hacer la vía se decide posponer su construcción. En la figura 1 se puede observar el tramo de vía construido que presento problemas (Inteinsa, 2108).



Figura 1Tramo de vía construido con problemas de deslizamiento (Inteinsa, 2018)

Todo el circuito vial diseñado para el vaso Altaír comprende 2,6 Km de los cuales se construyeron 700 m en la primera fase. Para la segunda fase se tiene proyectado construir 1100 m de vía, en la figura 2 se pueden observar los tramos de vías ya construidos y los que están proyectados construirse (Inteinsa, 2018).

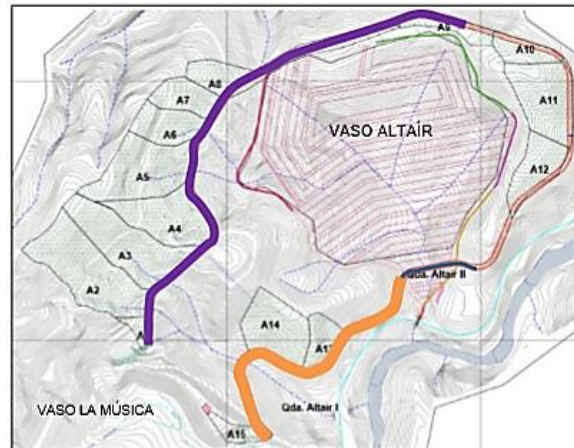


Figura 2 Circuito vial Altaír, tramos construidos y proyectados (Inteinsa,2018)

En el 2019 empieza el proceso de licitación para empezar la construcción de la segunda fase del circuito vial del vaso Altaír, en el cual participa Procopal S.A empresa con más de 50 años de experiencia en el sector de las vías y la construcción, logrando obtener el contrato para la construcción de los 1100 m de vía que comprenden la segunda fase del circuito vial del vaso Altaír.

Procopal S.A es la empresa encargada de llevar a cabo la construcción de 1100 m de la vía superior vaso Altaír- vía el zancudo, además de realizar otras obras como cortes de taludes, estabilización de taludes por medio de anclajes pasivos, conformaciones de terraplén reforzado con geosintéticos entre otras obras necesarias para llevar a cabo la construcción de dicho tramo de vía.

En el presente trabajo se pretende explicar y describir el proceso constructivo en obra de un terraplén reforzado con geosintéticos, los posibles problemas que se puedan presentar en su ejecución y las soluciones encontradas a dichos problemas.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Describir el proceso constructivo en obra de un terraplén reforzado con geosintéticos en el proyecto de construcción de la vía superior vaso Altaír- vía el Zancudo en el relleno sanitario la pradera.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar información primaria que permita conocer el alcance del proyecto.

- Determinar los datos técnicos necesarios para cumplir con los parámetros de calidad durante la ejecución de las actividades
- Identificar problemáticas en la ejecución y conformación del terraplén.
- Documentar el consumo y colocación de materiales críticos: geosintético, material seleccionado, en la obra.
- Documentar las actividades diarias y el avance de la obra.
- Documentar alternativas de solución y recomendaciones para las problemáticas identificadas en el proceso.

4 Marco Teórico

Los terraplenes son estructuras construidas a partir de materiales sueltos que se someten a un proceso de compactación, con el fin de conformar un elemento resistente y poco deformable, el cual puede ser utilizado en vías, estructuras hidráulicas, diques o simplemente para plataformas horizontales. (epm, 2018)

Las partes que conforman un terraplén son:

Cimiento: Es la parte inferior del terraplén que está por debajo de la superficie natural del terreno, la cual ha sufrido alguna alteración debido al retiro de materiales inadecuados.

Núcleo: Es la parte del terraplén comprendida entre el cimiento y la corona

Corona: Es la parte superior del terraplén, conformada con un espesor de 30 cm, salvo que los planos del proyecto o las especificaciones indiquen un espesor diferente.

Cuerpo del terraplén: El núcleo y el cimiento conforman el cuerpo del terraplén (INVIAS, 2013)

Los materiales utilizados para conformación del terraplén deben provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas. Dicho material debe cumplir con los requisitos que se encuentran incluidos en los documentos técnicos del proyecto. Si en estos documentos no se establecen los requisitos se deben usar los de la tabla 1.

Tabla 1 Requisitos de los materiales para terraplén (Invias, 2013)

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUELOS SELECCIONADOS	SUELOS ADECUADOS	SUELOS TOLERABLES
Partes del terraplén a las que se aplican		Todas	Todas	Cimiento y Núcleo
Tamaño máximo, mm	E-123	75	100	150
Porcentaje que pasa el tamiz de 2 mm (No. 10) en masa, máximo	E-123	80	80	-
Porcentaje que pasa el tamiz de 75 µm (No. 200) en masa, máximo	E-123	25	35	35
Contenido de materia orgánica, máximo (%)	E-121	0	1.0	1.0
Límite líquido, máximo (%)	E-125	30	40	40
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-126	10	15	-
CBR de laboratorio, mínimo (%) (Nota 1)	E-148	10	5	3
Expansión en prueba CBR, máximo (%)	E-148	0.0	2.0	2.0
Índice de colapso, máximo (%) (Nota 2)	E-157	2.0	2.0	2.0
Contenido de sales Solubles, máximo (%)	E-158	0.2	0.2	-

Para este proyecto se está construyendo un terraplén reforzado por medio de geosintéticos para garantizar la estabilidad interna y externa del terraplén además de controlar las deformaciones laterales.

Un geosintético es un material fabricado en el que, por lo menos uno de sus componentes es a base de polímero sintético o natural, y se presenta en forma de filtro, manto, lamina o estructura tridimensional, usada en contacto con el suelo o con otro tipo de material dentro de la geotecnia o la ingeniería civil (Pavco, 2012).

Existen diferentes tipos de geosintéticos, los más comunes usados en el campo de la ingeniería son los geotextiles, las geomallas, las geomembranas, las georedes y los mantos para el control de erosión derivados de la unión de características y cualidades de cada uno de los geosintéticos nombrados anteriormente (Pavco, 2012).

Geotextiles: “Material textil plano, permeable polimérico (sintético o natural) que puede ser No tejido, tejido o tricotado y que se utiliza en contacto con el suelo u otros materiales”.

Geomallas coextruidas: “Son estructuras bidimensionales elaboradas a base de polímeros, que están conformadas por una red regular de costillas conectadas de

forma integrada por extrusión, con aberturas de suficiente tamaño para permitir la trabazón del suelo, piedra u otro material geotécnico circundante”.

Geocompuesto de drenaje: “Es la combinación de geotextil y geored, combinando las cualidades más sobresalientes de cada material para lograr de forma óptima la captación y conducción de fluidos”.


Geomembrana: “Se define como un recubrimiento o barrera de muy baja permeabilidad, fabricada a partir de hojas delgadas de polímeros y usada para controlar la migración de fluidos”.

Mantos de control de erosión: “Son esterillas flexibles, compuestas por fibras o por una matriz tridimensional, que garantiza la protección del suelo, el refuerzo y el buen establecimiento de la vegetación” (Pavco, 2012).

Todos estos geosintéticos son ampliamente utilizados según los diseños y especificaciones del proyecto que se está ejecutando en el relleno sanitario La Pradera.

En la conformación y construcción del terraplén se emplea diferente maquinaria para las labores de corte, cargue, transporte, extendido y compactación de material. En la tabla 2 se muestra cada uno de los equipos requeridos para realizar dichas actividades.

Tabla 2 Maquinaria requerida para la conformación de terraplén

MAQUINARIA REQUERIDA PARA LA CONFORMACION DE TERRAPLEN		
NOMBRE	DESCRIPCION	ILUSTRACION
Retroexcavadora	Son máquinas compuestas por un cuerpo giratorio montado sobre orugas o llantas para desplazarse, además este cuerpo está dotado de un brazo hidráulico con un balde que le permite a la maquina realizar cortes y cargue de material.	

MAQUINARIA REQUERIDA PARA LA CONFORMACION DE TERRAPLEN		
NOMBRE	DESCRIPCION	ILUSTRACION
Volqueta doble troque	Son vehículos que poseen una caja en la parte trasera utilizado para transportar todo tipo de material. Su capacidad oscila entre los 12 y 16 m ³ .	
Bulldozer	Es un tractor con orugas, equipado con una cuchilla. Se utiliza para realizar labores de descapote, acarreo y extendido de material.	
Vibro compactador	Es un equipo provisto con un tambor vibratorio cuya función es compactar el material y así lograr las densidades necesarias para que el suelo adquiera la resistencia requerida.	

5 Metodología

- Recopilación de información técnica del proyecto.

Se realizó una revisión del informe técnico elaborado por INTEINSA, empresa responsable de los correspondientes estudios y diseños de la vía superior el zancudo, con el fin de conocer todos los aspectos técnicos relacionados a la construcción de la vía y más específicamente los diseños del terraplén reforzado con geosintéticos. Además, se llevó a cabo una revisión bibliográfica sobre terraplenes reforzados con geosintéticos y su proceso constructivo.

- Visitas de campo para recolección de información.

Se realizaron visitas a la obra todos los días, con el fin de visualizar y documentar el avance de la obra, estar al pendiente de las actividades realizadas durante el día por la maquinaria y la mano de obra. Además, por medio de estas visitas de campo también se pudo registrar paso a paso el proceso constructivo, las limitaciones y posibles inconvenientes que resultan al realizar un terraplén reforzado con geosintéticos.

- Registro fotográfico diario de la obra de interés.

Junto con las visitas de campo se realizó un registro fotográfico de cada una de las actividades llevadas a cabo para la ejecución del terraplén, esto con el fin de revisar el avance de la obra en el tiempo, además de poder identificar errores o aciertos en la ejecución de la obra.

- Recopilar información correspondiente a la operación diaria de la maquinaria en obra.

Por medio de la implementación de un reporte pre operacional se pudo recopilar información sobre las necesidades de cada equipo involucrado en el proceso constructivo, esto con el fin de realizar los mantenimientos o reparaciones necesarias para mantener los equipos en óptimas condiciones de trabajo y lograr un mínimo de equipos con fallas evitando retrasos en el programa de obra.

- Diseño y diligenciamiento de listas de chequeo de la entrada, salida y colocación de materiales en la obra.

Para poder llevar un correcto control de los materiales que llegaban y salían para su uso en obra, se realizó un formato denominado kardex el cual se alimentaba diariamente. Este formato permitió conocer los gastos por materiales que se generaban en la obra diariamente y saber la existencia de materiales que se encontraban disponibles a final de cada mes.

- Diligenciamiento de formatos establecidos para mediciones de campo según lo ejecutado diariamente.

Se implementó y diligenció un formato con la información que se tomaba de realizar las mediciones de campo de actividades tales como la construcción de filtros franceses, instalación de costales y construcción de cunetas, las demás actividades relacionadas con la construcción del terraplén se medían por medio de topografía como eran el corte y movimiento de tierras y el geotextil instalado en cada capa de

terraplén. Estas mediciones se efectuaban con el fin de apoyar la realización del acta de cobro que se debía hacer a la entidad contratante

- Revisión de los gastos y costos de las actividades diarias realizadas en la obra, además de las cantidades ejecutadas.

Por medio del kardex y de las mediciones de campo se pudo obtener un valor aproximado de los gastos diarios que se generaban al ejecutar la construcción del terraplén derivados de la mano de obra, los materiales utilizados y la maquinaria, esta información era consignada diariamente en un formato llamado informe diario. Por otro lado, en un formato llamado cantidades se consignaban las cantidades ejecutadas diariamente. Al tener los gastos y el valor facturado en el día se podía llevar un valor aproximado de las pérdidas o ganancias de la obra en general.

- Registrar todas y cada una de las actividades diarias llevadas a cabo en la obra.

Para esto se llevaba una bitácora en la cual se registraban todas las actividades realizadas en la obra, el clima, la cantidad de mano de obra, los equipos operativos y no operativos y todo lo relacionado con la obra en general todo con el fin de documentar todo lo sucedido y poder prestar atención a cualquier novedad que se pudiera presentar durante su ejecución.

- Consolidación de la información recolectada durante la ejecución del proyecto para la descripción del proceso constructivo.

Como se mencionó anteriormente se hizo uso de todos los formatos y registros para lograr obtener un seguimiento minucioso de la obra que se desarrollaba en el relleno sanitario La Pradera, más específicamente de la construcción del terraplén para lograr aprender el proceso constructivo y entender el uso que tienen los diferentes geotextiles en este tipo de terraplenes reforzados.

6 Resultados y Análisis

6.1 Estudios Preliminares

Se encontró que, para iniciar con la ejecución de proyecto, la construcción de la vía superior El Zancudo la empresa INTEINSA encargada de los diseños realizó diferentes estudios de suelo y de la geología de la zona a intervenir. Para dichos estudios se tomaron muestras de suelo en diferentes tramos de la vía, tramos en los cuales se deben realizar cortes y excavaciones y de los cuales saldrá el material para la construcción del terraplén.

En la tabla número 3 se puede encontrar el resumen de los estudios de suelo de las diferentes muestras que se tomaron a lo largo del Km 1+100 al Km 0+480.

Tabla 3 Resumen estudio de suelos (Inteinsa 2018)

Sondeo	Z [m]	w [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	USCS	Gs
P-M1	2.0	-	44	29	15	0	45	55	ML	2.68
P-M2	7.0	-	39	27	12	0	54	46	SC-SM	2.70
P-M3	9.0	-	39	26	13	0	57	43	SC-SM	
S-M1	2.0	15.0	43	29	14	0	39	61	ML	2.81
S-M2	7.0	15.4	46	26	20	0	57	43	SC-SM	
S-M3	9.0	18.6	43	25	18	1	67	32	SC-SM	2.74

Como se puede observar en la tabla anterior, a partir de la clasificación de suelos que se les realizó a las muestras, se encontraron suelos areno limosos y areno arcillosos además de limos de baja plasticidad, suelos con una humedad promedio del 16,3%.

Al conocer las propiedades del suelo en general, se toma una última muestra entre el Km 0+920 y el Km 0+960 para ser analizada como material para terraplén y comparar sus resultados con la tabla 1 basada en el artículo 220 de la norma INVIAS y conocer si este suelo cumple con los requisitos de dicha norma. A continuación, en la tabla 3 se presentan los resultados del estudio de suelos para la muestra en mención.

Tabla 4 Resultados ensayos realizados y rangos establecidos por la especificación correspondiente (Inteinsa 2020)

Ensayo	Resultados	Especificación 220-13 INVÍAS	
		Material seleccionado	Material adecuado
Tamaño máximo (mm)	9.5	75	100
Porcentaje que pasa el tamiz No. 10	97	≤80	≤80
Porcentaje que pasa el tamiz No. 200	48	≤25	≤35
Límite líquido (%)	38	≤30	≤40
Índice de plasticidad (%)	NP	≤10	≤15
Contenido de materia orgánica (%)	0.2	0	≤1
Densidad seca máxima (kg/m ³)	1818	--	--
Humedad óptima (%)	11.4	--	--
CBR para el 95% de compactación con relación al Proctor modificado (%)	7.8	≥10	≥5
Expansión en prueba CBR (%)	2.7	0	≤2
Índice de colapso (%)	PENDIENTE	≤2	≤2
Sales solubles (%)	0.019	≤0.2	≤0.2

Dado que el material solo se cumple con algunas de las especificaciones dadas por la norma para materiales adecuados como son el límite líquido, contenido de materia orgánica y CBR para el 95% de compactación con relación al proctor modificado, la empresa INTEINSA opta por realizar un diseño de un terraplén reforzado con geosintéticos y dar como parámetros de diseño que el material cumpla con un IP < 12 y con un contenido de finos < 45.

En la figura 3, 3-a y 3-b se muestran los planos de diseño del terraplén reforzado, en los cuales se puede observar la vista en planta, un corte transversal y el perfil longitudinal respectivamente además de que su ejecución está comprendida entre el Km 0+350 a Km 0+490 de la vía El Zancudo.

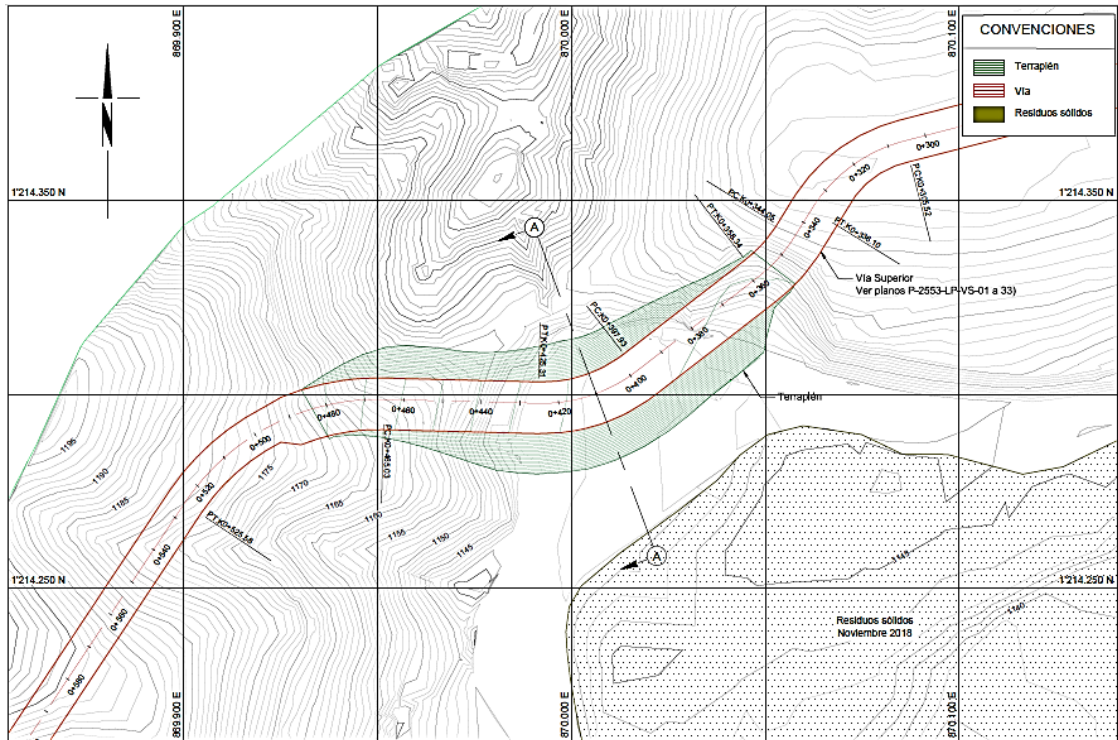


Figura 3 Vista en planta terraplén

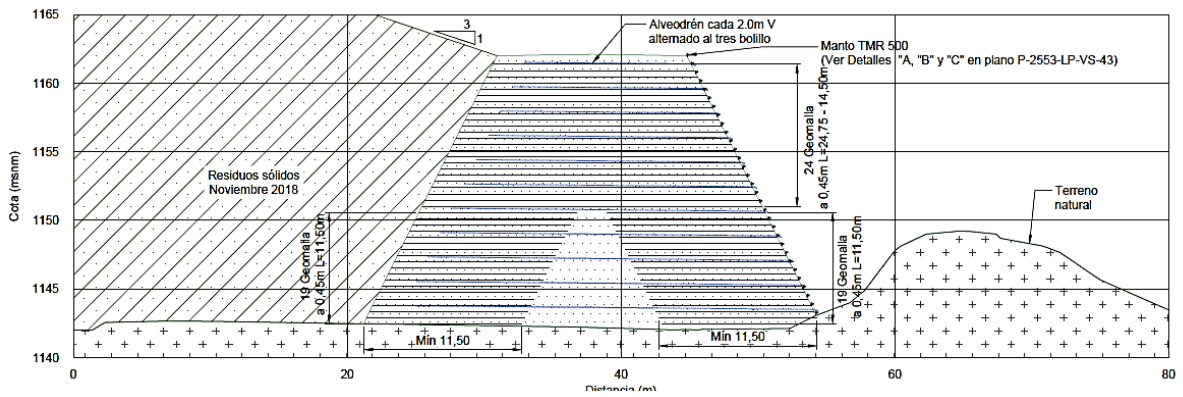


Figura 3-a Sección A-A Km 0+410

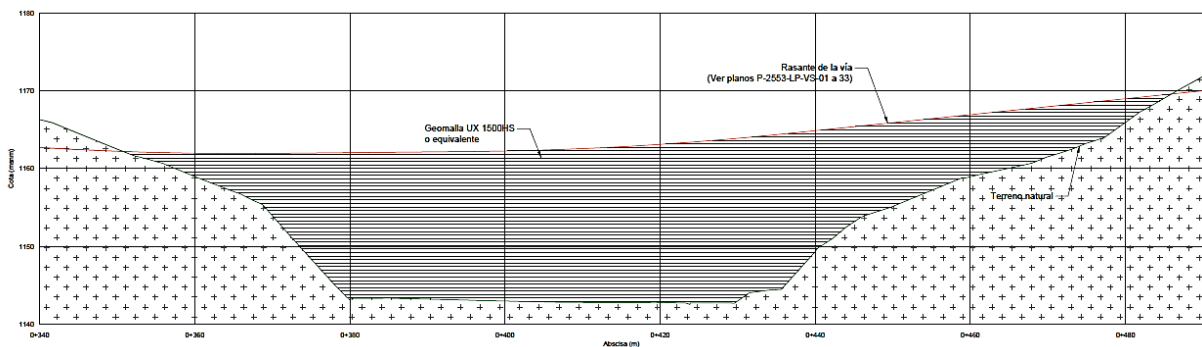


Figura 3-b Perfil longitudinal terraplén

6.2 Proceso Constructivo del Terraplén

Para llevar a cabo la construcción del terraplén se deben realizar diferentes actividades presentes en el presupuesto de la obra, a su vez estas actividades se componen de procesos, los cuales sumados dan como resultado la ejecución del terraplén.

A continuación, se presentan las actividades incluidas en el presupuesto de la obra y su forma de pago.

6.2.1 Comisión de topografía

Por medio de esta actividad se realiza la localización y replanteo del terraplén. La forma de pago de esta actividad es global, es decir desde el inicio de la obra se tiene el valor total de la comisión de topografía para toda la obra.

6.2.1.1 Localización y replanteo

Para iniciar con la construcción del terraplén es necesario realizar la localización y el replanteo del terreno el cual se va a trabajar, en esta obra en específico se realizó por medio de la comisión topográfica, conformada por el topógrafo el cadenero y una estación de topografía. Se marcaron diferentes filtros, el eje de la vía y el borde desde donde se la da arranque al terraplén.

6.2.2 Descapote

En la actividad de descapote se incluye el desmonte y la limpieza. La forma de pago de esta actividad es metros cuadrados (m²).

6.2.2.1 Desmonte y Limpieza

Luego de realizar la localización y replanteo del terraplén, según el artículo 220 de las especificaciones generales de construcción de carretas de INVIAS, se debe realizar el desmonte y limpieza del terreno en el cual se va a construir el terraplén.

En este caso la zona ya contaba con el desmonte y limpieza respectivos por lo que fue más fácil iniciar con los trabajos de excavación y construcción de filtros.

6.2.3 Construcción de Drenajes y Subdrenajes

Para el manejo de aguas en el terraplén se diseñaron diferentes filtros que se deben realizar en el terreno en el que se apoyara el terraplén antes de iniciar con la construcción de este. En la figura 4 se pueden observar marcados con líneas azules los diferentes filtros que se debían construir antes de iniciar con la ejecución del terraplén y en la figura 5 se observa el detalle de cada filtro.

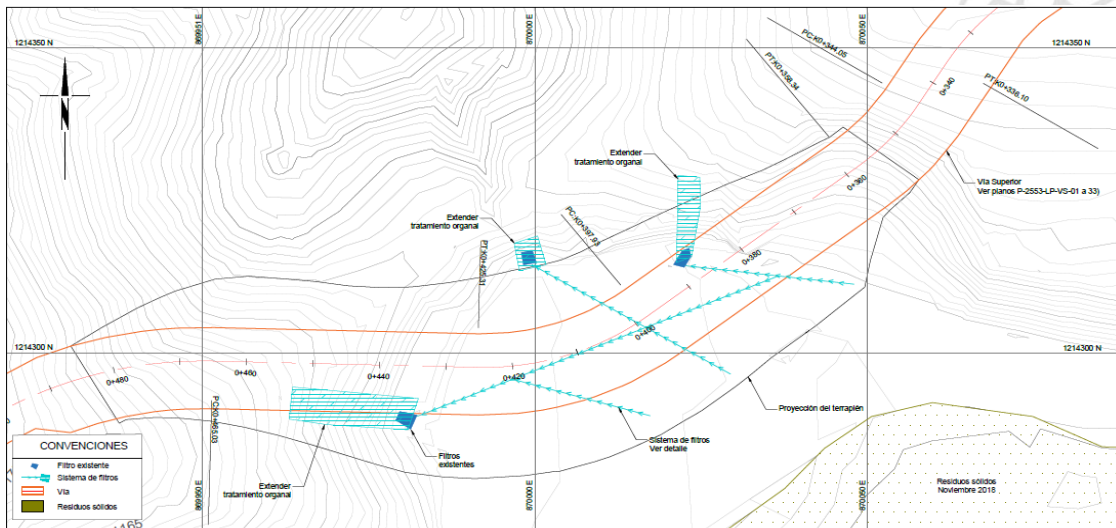


Figura 4 Vista en planta con localización de filtros (Inteinsa 2018)

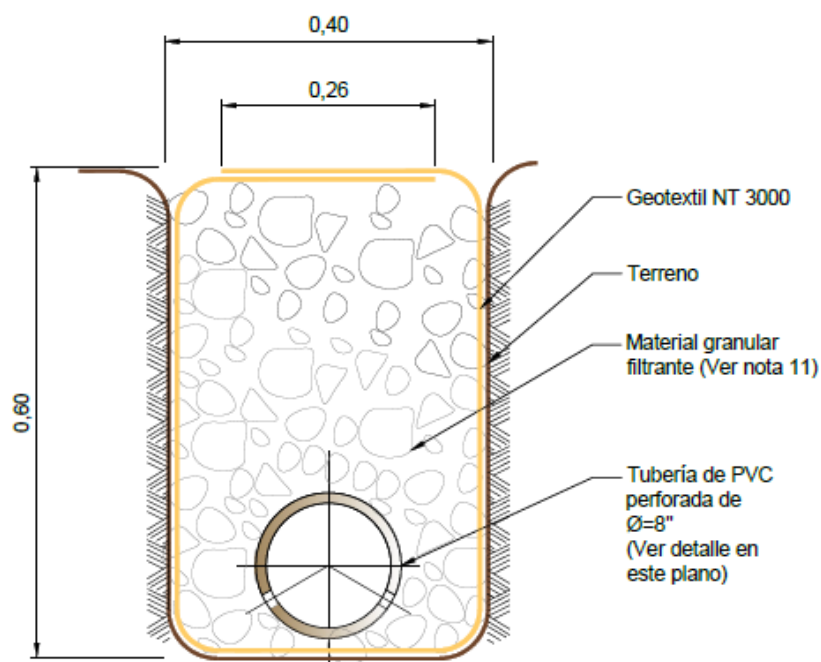


Figura 5 Detalle de filtro (Inteinsa 2018)

Para la construcción de estos filtros se deben llevar a cabo las siguientes actividades:

6.2.3.1 Excavaciones varias sin clasificar

Para realizar los filtros propuestos en el diseño se debe realizar primero la excavación con las medidas especificadas en el plano. Su forma de pago es en metros cúbicos (m^3).

En la imagen 1 se puede observar la excavación de uno de los filtros antes de dar inicio a la construcción del terraplén



Imagen 1 Excavación para filtro

6.2.3.2 Geotextil NT 3000

Luego de tener la excavación se instala el geotextil no tejido para evitar la colmatación del filtro por materiales finos. Esta actividad se paga por metros cuadrados (m^2).

En la imagen 2 se observa la instalación del geotextil no tejido sobre la excavación del filtro.



Imagen 2 Instalación de geotextil no tejido

6.2.3.3 Tubería corrugada para filtro de 4”

Después se ubica en la parte de abajo de la excavación una tubería corrugada de pvc perforada. Esta actividad se paga por metro lineal (ml).

6.2.3.4 Material granular para filtro

Por último, se llena todo el volumen de la excavación con material granular filtrante que según las especificaciones del diseño debe ser un material con formas redondeadas y un diámetro ente 4 y 8 pulgadas. La forma de pago de esta actividad es en metros cúbicos (m³).

En la imagen 3 se observa el lleno con material granular filtrante.



Imagen 3 Lleno con material granular filtrante

Después de construir todos los filtros requeridos en el diseño, se procede a realizar la explanación y nivelación del terreno para iniciar la conformación de las capas del terraplén.

La conformación de cada capa de terraplén consta de los siguientes procesos:

- Instalación de geomalla
- Instalación de geodren (capas que lo requieran)
- Transporte de material por medio de volqueta
- Extendido del material con bulldozer
- Humectación hasta alcanzar la humedad óptima
- Compactación y sello con vibro compactador
- Toma de densidades

6.2.4 Geotextil

En esta actividad se incluye la instalación de este material en cada capa de terraplén. Su forma de pago se realiza en metros cuadrados (m²)

6.2.4.1 Instalación del Geotextil

Debido a las características del material que se va a utilizar para la construcción del terraplén, cada una de sus capas debe ser reforzada por medio de un geosintético para garantizar su estabilidad interna y externa además de controlar las deformaciones laterales.

Para el terraplén construido en la vía El Zancudo se utilizó más específicamente geomalla uniaxial, es decir el refuerzo se encuentra en una sola dirección. Esta se debe instalar desde el borde del terraplén hacia el eje de la vía y el refuerzo de la geomalla debe ser instalado de manera perpendicular al eje longitudinal de la vía. En la imagen 4 se puede observar la geomalla uniaxial en donde la franja más gruesa es el refuerzo de la geomalla.

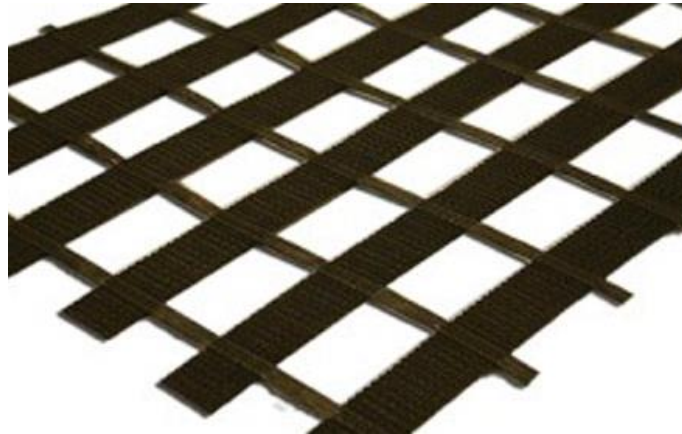


Imagen 4 Geomalla uniaxial (Geomatrix, 2020)

Según las especificaciones de diseño, la geomalla debe tener una longitud mínima de 11,5 m y se debe dejar 1 m para el dobléz superior que se va a traslapar con la geomalla de la capa superior. La geomalla se debe instalar en toda la longitud del terraplén con traslapos mínimos de 30 cm y no debe contar con traslapos en la dirección del refuerzo. En la imagen 5 se muestra el remate que debe tener la geomalla en el borde del terraplén.

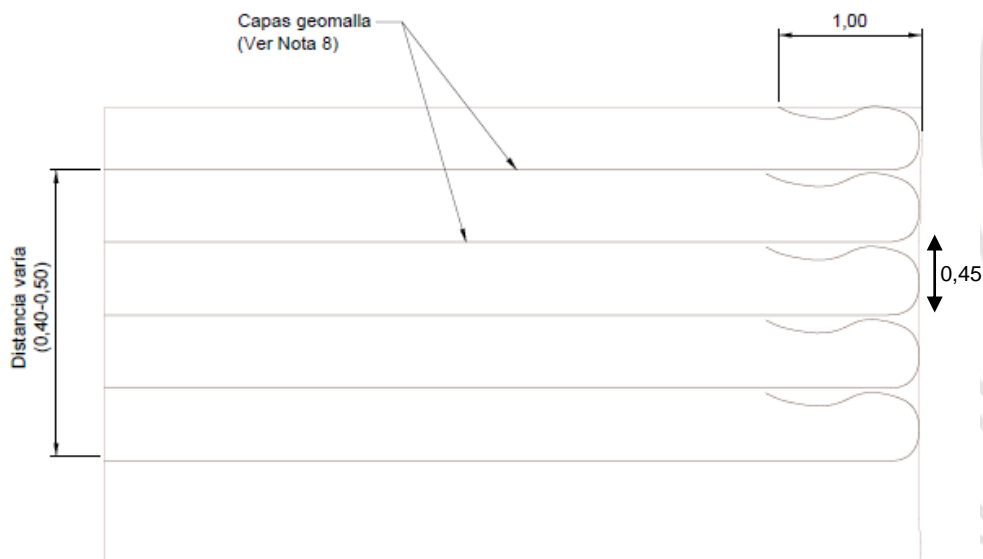


Imagen 5 Remate de geomalla (Inteinsa 2018)

Luego de instalar la geomalla se colocan costales en ambos bordes del terraplén llenos con tierra, para darle forma y ayudar a contener el material conformado en cada capa. Después de instalar los costales y la geomalla en la longitud total del terraplén, se procede a extender la primera capa de material.

En la imagen 6 se observa la instalación de la geomalla y los costales en la margen izquierda de la vía.



Imagen 6 Instalación de geomalla y costales

6.2.5 Alveodren

Esta actividad incluye la instalación del geodren en las capas que lo requieran. Su forma de pago es en metros lineales (ml) con un ancho de 0,5 metros.

6.2.5.1 Instalación de geodren (Alveodren)

Para una correcta evacuación del agua entre las capas del terraplén, antes de instalar la geomalla se deben instalar tiras de geodren a lo largo de todo el terraplén y hacia borde del terraplén donde se encuentra la pendiente transversal. Según las especificaciones de diseño este geodren se debe instalar con una separación vertical de 2 metros y una separación horizontal de 4 metros. Su instalación se debe hacer a tres bolillos. En la imagen 7 se puede observar la instalación de dicho geodren antes de la geomalla.



Imagen 7 Instalación de geodren

6.2.6 Llenos con material seleccionado para conformación de terraplenes

Esta actividad la componen el corte, transporte, extendido y compactación del material con cual se debe construir el terraplén. Su forma de pago se realiza en metros cúbicos (m³).

6.2.6.1 Suministro, Transporte y Almacenamiento del Material

El suministro del material según las especificaciones generales de construcción de carreteras en su artículo 220 indica que los materiales que se deben emplear para la construcción de terraplenes deben provenir de las excavaciones de la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas. En este proyecto, el material empleado se extrajo de los cortes de los taludes que se debían conformar a lo largo de la construcción de la vía y por medio de volquetas disponerlo en el sitio donde se construirá el terraplén

En las imágenes 8 y 9 se muestra el corte y excavación del material, su cargue en las volquetas y su transporte al sitio requerido para su uso.



Imagen 9 Corte de talud



Imagen 8 Cargue de material en volqueta

6.2.6.2 Extendido del Material

Ya con la geomalla y costales instalados, se procede a traer el material desde el sitio de excavación o corte para iniciar con la primera capa del terraplén.

De acuerdo con las especificaciones de diseño cada capa del terraplén debe tener un espesor de 45 cm, por medio de las volquetas el material es llevado a la zona donde se está conformando el terraplén, allí se descarga el material para posteriormente ser extendido por el bulldozer conservando siempre la pendiente transversal para asegurar una rápida evacuación del agua y reducir el riesgo de erosión.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es para lograr la compactación deseada no se deben compactar capas con espesor mayor a 40 cm, debido a que cada capa del terraplén es de 45 cm, se opta por dividir el extendido y compactación del material en dos subcapas de 20 cm y 25 cm para lograr cumplir con la compactación exigida por las especificaciones de diseño.

En la imagen 10 se muestra el extendido de una capa de terraplén.



Imagen 10 Extendido de una capa de material

6.2.6.3 Humectación o Aireado

Una vez ha sido extendida la capa de material, se procede a ajustar la humedad del suelo. Este proceso es de suma importancia ya que nos ayuda a obtener una óptima compactación del material, garantizando la suficiente resistencia del material y reduciendo los asentamientos que se pueden presentar más adelante en el terraplén.

Además, ayuda a evitar las variaciones de humedad después de la construcción las cuales pueden provocar cambios de volumen en el suelo, ocasionando daños y deformaciones en la base del terraplén.

La humedad que se toma normalmente como humedad de referencia es la determinada por el ensayo proctor normal o modificado, su valor es cercano a la humedad de equilibrio, que es la que alcanzara definitivamente el suelo pasado un tiempo después de su construcción.

Debido a la humedad natural del material con el que se está conformando el terraplén no es necesario realizar la humectación de cada capa, por el contrario, el material debe ser aireado para que puede alcanzar su porcentaje de humedad óptima y lograr una buena compactación.

6.2.6.4 Compactación

Alcanzado el porcentaje de humedad óptima, se procede a la fase de compactación del material. El objetivo de este proceso es aumentar la estabilidad y resistencia mecánica del terraplén.

El equipo empleado para realizar la compactación de cada capa de terraplén es el vibro compactador, según el artículo 220 de las especificaciones generales de carreteras esta compactación se debe realizar desde los bordes del terraplén hacia el centro con pasadas paralelas traslapadas en, por lo menos, la mitad del ancho de la unidad compactadora.

El número de pasadas para que se logre una compactación uniforme y satisfactoria son dadas por la pericia del operador del vibro compactador. En la imagen 11 se puede observar el proceso de la compactación de una capa de terraplén.



Imagen 11 Compactación de una capa de terraplén

6.2.6.5 Toma de Densidades

Como último paso y para poder continuar con la construcción de una siguiente capa de terraplén, se debe realizar una toma de densidades para saber si la capa de terraplén tiene la compactación adecuada.

Según el artículo 220 de las especificaciones generales de construcción de carreteras para la verificación de la compactación de cada una de las capas del terraplén se define como lote, el menor volumen que resulte de aplicar los siguientes criterios:

- 500 m lineales de compactada en el ancho total de terraplén
- 3500 m² en el caso de las capas de la corona o 5000 m² en el resto de las capas.

- El volumen construido con el mismo material, del mismo corte o préstamo y colocado y compactado con los mismos equipos, en una jornada de trabajo.

El grado de compactación de cada lote según el artículo 220 debe ser del 95% para cimiento y 100% para el núcleo. Estos valores aplican para el tipo de material con el cual se está conformando el terraplén en la obra de la vía EL Zancudo. Según las especificaciones de diseño el grado de compactación de cada capa del terraplén debe ser al menos el 95% de la densidad máxima obtenida en laboratorio con el proctor modificado.

Para la verificación del grado de compactación del material en obra se utilizó el ensayo por cono de arena, en la imagen 12 se puede observar la toma de densidades en una capa de terraplén.



Imagen 12 Toma de densidades por medio del cono de arena

Finalmente, los resultados de la toma de densidades son validados por interventoría para continuar con la construcción de la siguiente capa del terraplén.

6.3 Control de calidad de los materiales

Según el artículo 220 de las especificaciones generales de construcción de carreteras de cada procedencia del material empleado para la construcción del terraplén se deben determinar los parámetros indicados en la tabla 1, en este caso los especificados en el diseño. Además, se deben realizar ciertas verificaciones periódicas de calidad de los materiales.

En la tabla 5 se muestran las características que se deben verificar para efectos de calidad de los materiales.

Tabla 5 Verificaciones periódicas de calidad de los materiales (INVIAS 2013)

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	FRECUENCIA
Granulometría	E-123	Una (1) vez por jornada
Contenido de materia orgánica	E-121	Una (1) vez a la semana
Límite líquido	E-125	Una (1) vez por jornada
Índice de plasticidad	E-126	Una (1) vez por jornada
CBR de laboratorio, con expansión	E-148	Una (1) vez por mes
Índice de colapso	E-157	Una (1) vez por mes
Densidad seca máxima	E-142	Una (1) vez por semana
Contenido de sales solubles	E-158	Una (1) vez a la semana

Al contar con un laboratorio en obra, se podía realizar este tipo de ensayos a cualquier material proveniente de los cortes y excavaciones por lo que se llevaba un control estricto de la calidad de los materiales utilizados para la conformación del terraplén. En la tabla 6 y 7 se muestran diferentes de resultados de los ensayos realizados al material de conformación.

Tabla 6 Ensayo de material para terraplén Julio (Procopal 2020)



		TABLA REPORTE DE ENSAYOS TERRAPLEN (E-INVIAS-220-13)			Código:	
					Revision:	
					vigencia:	
CLIENTE:	EMVARIAS			Fecha de Toma	27/07/2020	
OBRA:	LA PRADERA			Fecha de Ensayo	28/07/2020	
LOCALIZACIÓN:	CORTE KM 0+700/660			Muestra N°:	LP-MC-025	
DESCRIPCIÓN:	ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ AMARILLENTO					
ENSAYOS TERRAPLEN	Norma de Ensayo	Fecha de Toma	fecha de Ensayo	Resultado de Ensayo	Requerimiento Ensayo	Suelos Tolerables
Pasa N° 200	E-214-13	27/07/2020	28/07/2020	34,6%	≤ 35%	Cumple
Pasa N° 10	E-214-13	27/07/2020	28/07/2020	87,9%	-	N/A
Tamaño Max	E-123-13	27/07/2020	28/07/2020	9,5 mm	150,0mm	Cumple
Clasificación U.S.C.S.	N/A	27/07/2020	28/07/2020	SM	-	-
Clasificación AASHTO	N/A	27/07/2020	28/07/2020	A-2-4	-	-
Límite Líquido	E-125-13	27/07/2020	28/07/2020	39,8%	≤ 40%	Cumple
Índice de Plasticidad	E-126-13	27/07/2020	28/07/2020	5,9%	N/A	N/A
Proctor	E-142-13	27/07/2020	28/07/2020	1703	N/A	N/A
CBR	E-148-13	-	-	-	≥3%	-
% de Expansión en CBR	E-148-13	-	-	-	≤2%	-
Materia Orgánica	E-121-13	27/07/2020	-	-	≤1%	PENDIENTE
Sales Solubles	E-158-13	-	-	-	N/A	-
Índice de Colapso	E-157-13	-	-	-	≤2%	-
OBSERVACIONES: Según plano No P-2553-LP-VS-42, Comunicado No C-1645-17-2553 del 13 de diciembre de 2017. Especificación particular para la obra Pasa 200 ≤ 45% Y Índice Plástico ≤ 12%						

Tabla 7 Ensayo de material para terraplén Agosto (Procopal 2020)

	TABLA REPORTE DE ENSAYOS TERRAPLEN (E-INVIAS-220-13)				Código:	
					Revision:	
					vigencia:	
CLIENTE: EMVARIAS		Fecha de Toma: 18/08/2020				
OBRA: LA PRADERA		Fecha de Ensayo: 20/08/2020				
LOCALIZACIÓN: CORTE KM 0+170		Muestra N°: LP-MC-028				
DESCRIPCIÓN: ARENA LIMOSA COLOR CAFÉ ROJIZO						
ENSAYOS TERRAPLEN	Norma de Ensayo	Fecha de Toma	fecha de Ensayo	Resultado de Ensayo	Requerimiento Ensayo	Suelos Tolerables
Pasa N° 200	E-214-13	18/08/2020	20/08/2020	43,8%	≤ 35%	No cumple
Pasa N° 10	E-214-13	18/08/2020	20/08/2020	95,1%	-	N/A
Tamaño Max	E-123-13	18/08/2020	20/08/2020	9,5 mm	150,0mm	Cumple
Clasificación U.S.C.S.	N/A	18/08/2020	20/08/2020	SM	-	-
Clasificación AASHTO	N/A	18/08/2020	20/08/2020	A-4	-	-
Limite Líquido	E-125-13	18/08/2020	20/08/2020	39,6%	≤ 40%	Cumple
Índice de Plasticidad	E-126-13	18/08/2020	20/08/2020	5,7%	N/A	N/A
Proctor	E-142-13	18/08/2020	21/08/2020	1709	N/A	N/A
CBR	E-148-13	-	-	-	≥3%	-
% de Expansión en CBR	E-148-13	-	-	-	≤2%	-
Materia Orgánica	E-121-13	-	-	-	≤1%	-
Sales Solubles	E-158-13	-	-	-	N/A	-
Índice de Colapso	E-157-13	-	-	-	≤2%	-
OBSERVACIONES: Según plano No P-2553-LP-VS-42, Comunicado No C-1645-17-2553 del 13 de diciembre de 2017. Especificación particular para la obra Pasa 200 ≤ 45% Y Índice Plástico ≤ 12%						

En cuanto a la geomalla está también debe cumplir con unas características de calidad definidas en el artículo 223 de las especificaciones técnicas de construcción de carreteras. En la tabla 8 se encuentran los parámetros mínimos que deben cumplir los geotextiles, en este caso la geomalla uniaxial.

Tabla 8 Especificaciones mínimas de los geotextiles (INVIAS 2013)

PROPIEDAD	NORMA DE ENSAYO ASTM	REQUISITO
Resistencia a la tensión última en la dirección del refuerzo, mínimo (kN/m): - Geotextiles - Geomallas	D 4595 D 6637	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Resistencia a la tensión a largo plazo del geosintético en la dirección del refuerzo, mínimo (kN/m):	Numeral 223.2.1.1	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Resistencia de las uniones o nodos de las geomallas	GRI GG2	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Coefficiente de interacción geosintético/suelo por extracción para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo	D 6706	0.85
Coefficientes de deslizamiento pico y residual en la interfaz geosintético/suelo, para el tipo de relleno contemplado en el proyecto, mínimo	D 5321	Según lo establecido en los documentos del proyecto
Estabilidad ultravioleta: resistencia retenida después de 500 horas de exposición, valor mínimo (%)	D 4355	70

El proveedor de la geomalla uniaxial debe garantizar su calidad para lograr obtener buenos resultados en el momento de la construcción del terraplén, al ser un terraplén reforzado este material es de vital importancia para su ejecución. En la figura 6 y 7 se muestran las propiedades físicas y mecánicas de la geoamalla uniaxial.

PROPIEDADES MECÁNICAS	NORMA DE ENSAYO	UNIDAD	VALORES MARV UX 100
Resistencia (MD)	ASTM D 6637	kN/m	115
Resistencia (TD)	ASTM D 6637	kN/m	25,0
Elongación (MD) ⁽¹⁾	ASTM D 6637	%	13,9
Módulo secante al 2% elongación (MD)	ASTM D 6637	kN/m	1080
Coefficiente de interacción por Pull out Ci @ 24 kPa	ASTM D 6706		1,09
Resistencia disponible por plastodeformación (creep) RF _{CR} a 75 años	ASTM D 5262 ASTM D 6992	kN/m	72,8
PROPIEDADES FÍSICAS			
Tamaño de abertura (MD) ⁽²⁾	Medido	mm	30
Tamaño de abertura (TD) ⁽²⁾	Medido	mm	21

Figura 6 Características físicas y mecánicas geomalla uniaxial (Geomatrix 2020)

Product Properties

Index Properties	Units	MD Values ¹
▪ Tensile Strength @ 5% Strain ²	kN/m (lb/ft)	52 (3,560)
▪ Ultimate Tensile Strength ²	kN/m (lb/ft)	114 (7,810)
▪ Junction Strength ³	kN/m (lb/ft)	105 (7,200)
▪ Flexural Stiffness ⁴	mg-cm	5,100,000
Durability		
▪ Resistance to Long Term Degradation ⁵	%	100
▪ Resistance to UV Degradation ⁶	%	95
Load Capacity		
▪ Maximum Allowable Strength for 120-year Design Life ⁷	kN/m (lb/ft)	41.8 (2,860)
Recommended Allowable Strength Reduction Factors⁷		
▪ Minimum Reduction Factor for Installation Damage (RF _{ID}) ⁸		1.05
▪ Reduction Factor for Creep for 120-year Design Life (RF _{CR}) ⁹		2.60
▪ Minimum Reduction Factor for Durability (RF _D)		1.00

Figura 7 Propiedades y durabilidad de la geomalla (Geomatrix 2020)

6.4 Problemáticas Identificadas en el Proceso Constructivo

A lo largo del proceso constructivo se fueron identificando diferentes problemáticas que podían afectar el correcto avance de la obra generando contratiempos y posibles inconvenientes en la construcción del terraplén.

6.4.1 Zona de Veda

Una de los problemas encontrados a medida que se avanzaba con la construcción del terraplén fue la zona de veda.

Esta era una zona comprendida entre los Km 0+480 y Km 0+810 donde se encontraba un bosque el cual aún no contaba con el permiso de Corantioquia para ser intervenido y se debía hacer su desmonte para poder llevar a cabo la construcción de la vía y del terraplén.

Al no tener los permisos para intervenir esta zona, se generaron retrasos en la construcción del terraplén, ya que al terminar con los cortes y excavación de los taludes comprendidos entre el Km 0+810 al Km 1+100, no se contaba con el material suficiente para avanzar con esta obra.

Al cabo de unas semanas de terminar con los cortes y excavaciones de los taludes mencionados anteriormente, se pudo gestionar el permiso ante Corantioquia y posteriormente realizar la liberación ambiental para continuar con la construcción de la obra en general.

6.4.2 Lluvias

Uno de los de los factores importantes para llevar a buen término la construcción del terraplén eran las lluvias ya que por las características erosionables del material su presencia afectaba de sobremanera el avance en la obra.

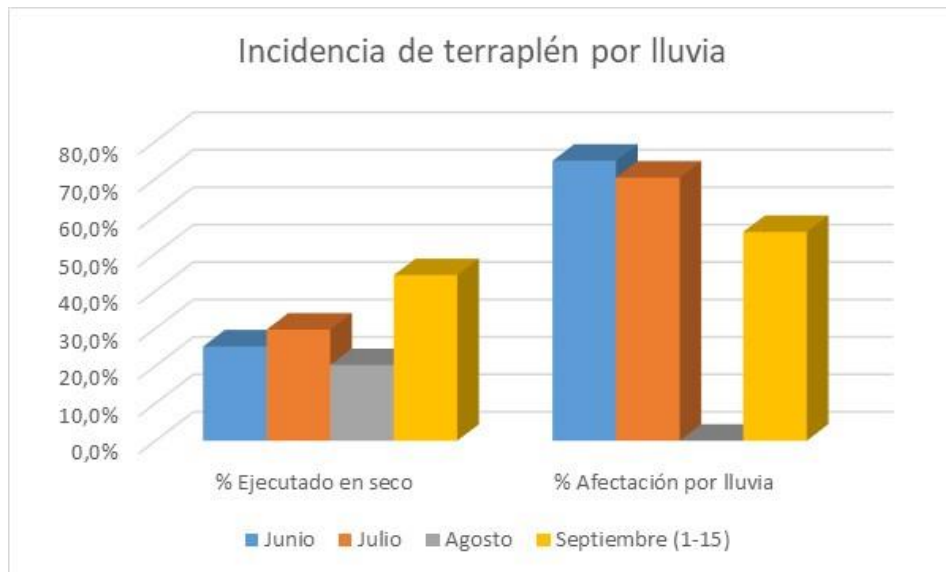
Desde el mes de abril se empezaron a presentar fuertes lluvias en la zona de manera frecuente, lo que empezó a generar retrasos y reprocesos en la ejecución del terraplén ya que al alterar la humedad de alguna capa del terraplén no se iba a alcanzar el grado de compactación requerido. En algunas ocasiones se presentaban lluvias tan fuertes que la capa de terraplén que recibía toda el agua se volvía lodo. En la imagen 12 se puede evidenciar dicha situación.



Imagen 13 Capa de terraplén después de fuertes lluvias

Para poder reparar la capa afectada se debía retirar todo el material húmedo y reemplazarlo por material seco, lo que generaba retrasos en el programa de obra y sobrecostos.

En la gráfica 1 se muestra cómo ha incidido la lluvia entre los meses de junio y septiembre en el avance del terraplén de acuerdo con la programación de obra que se tenía, en el mes de junio solo se pudo ejecutar un 25,2% de lo que se tenía programado con una afectación por lluvia del 74,8%, en el mes de julio solo un 29,7% con una afectación por lluvias del 70,3%, en el mes de agosto un 20,2% pero su afectación se debe por factores diferentes a la lluvia y en el mes de septiembre se pudo ejecutar un 44,2% con una afectación del 55,8%.



Grafica 1 Porcentaje de afectación del terraplén por lluvia

Para esta problemática se trataron de buscar diferentes soluciones y poder cumplir con los tiempos de ejecución. La solución a la cual se llegó para proteger las capas de terraplén de las lluvias fue colocar un plástico de calibre grueso con las dimensiones del terraplén. En la imagen 13 se puede observar el plástico con el cual se recubría el terraplén.



Imagen 14 Instalación de plásticos en el terraplén

Esta solución no fue de mucha ayuda ya que el agua se filtraba hacia el terraplén por las juntas que había entre las uniones del plástico y por las rampas que se encontraban a cada extremo del terraplén.

La instalación de plásticos no fue una solución efectiva a este problema, además las fuertes lluvias han afectado toda la obra en general por lo que se están presentando

retrasos de más o menos de 2 meses para la finalización de la construcción de la vía El Zancudo.

La solución que se pudo implementar, fue enfocarse únicamente en la construcción del terraplén dejando otras actividades de la obra suspendidas en el momento en que se presentó tiempo seco. Este enfoque logró un alza en los rendimientos de la ejecución del terraplén al tener toda la maquinaria y la mano de obra allí concentrada.

6.4.3 Maquinaria

Uno de los insumos importantes para la obra y más específicamente para la ejecución del terraplén es la maquinaria, ya que con la ayuda de esta y sus operadores es posible extraer el material, transportarlo, extenderlo y conformarlo.

Por tal motivo, la falta de alguna de las maquinas involucrada en este proceso representa trabas y retrasos en el avance del terraplén y su correcto proceso constructivo.

Otra de las problemáticas que se encontró durante la ejecución de la obra es cuando fallan los equipos ya que dependiendo de la complejidad del daño este puede permanecer durante varios días sin poder realizar algún tipo de trabajo.

Para minimizar este tipo de percances se tomaron varias medidas:

- **Reporte pre operacional:** Este reporte debía ser diligenciado por cada operador en donde se debía poner todas las necesidades que tenía la máquina y algún fallo que pudiera tener. Con esto se podía saber que maquinas necesitaban algún mantenimiento preventivo o correctivo
- **Capacitaciones a los operadores:** Se realizaron algunas capacitaciones a los operadores para que supieran que acciones podían realizar a diario para mantener su equipo en óptimas condiciones, evitando así posibles fallos en la maquinaria.

Una de las ventajas con las que se contaba era que la maquinaria era propia de la empresa Procopal S.A y la obra se encontraba cerca de la planta donde se les realiza mantenimiento a los equipos, por tal motivo si en algún momento la maquinaria presentaba algún problema se podía hacer llegar al mecánico o algún repuesto necesario en la obra en un menor tiempo garantizando así el correcto funcionamiento de la maquinaria.

7 Conclusiones

- El uso de geosintéticos en la construcción de terraplenes permite garantizar la estabilidad y controlar las deformaciones de estos además de permitir obras más económicas tanto en dinero como en tiempo. Esto permite que en el diseño se realicen las especificaciones para cada tipo de obra y se puedan usar los mismos materiales que se encuentra en la zona sin la necesidad de comprar y traer materiales de otro lugar.
- Es de suma importancia seguir las especificaciones de diseño y las normas de construcción de carretera para lograr obtener un trabajo con altos estándares de calidad, evitando así los reprocesos o problemas futuros.
- Con las visitas de campo se pudo determinar que problemas se presentaron a lo largo de la construcción del terraplén y plantear soluciones para dichos inconvenientes con el fin de avanzar en la ejecución de la obra.
- La maquinaria es un insumo bastante importante en este tipo de obras por tal motivo se debe mantener en óptimas condiciones para lograr su uso efectivo. Por medio de los reportes preoperacionales y de las capacitaciones a los operadores se pudo minimizar las fallas sufridas por la maquinaria.
- El histórico de lluvias se debe tener en cuenta para plantear soluciones y lograr mitigar los problemas que estas puedan generar. Una estrategia clara para evitar los retrasos en la programación es avanzar la construcción de la obra lo que más se pueda cuando haya total presencia de tiempo seco.
- Con las visitas de campo diarias se pudo llevar un registro detallado de la obra, permitiendo llevar un control de las actividades para garantizar una óptima ejecución de la obra.

8 Referencias Bibliográficas

INTENINSA. (2018). Asesoría técnica y análisis del sistema de instrumentación del relleno sanitario la pradera. Informe técnico

Betancur, J. (2019). En 2022 el relleno sanitario La Pradera alcanzaría su máxima capacidad – El Tiempo. <https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/en-2022-el-relleno-sanitario-la-pradera-alcanzaria-su-maxima-capacidad-336876>

Epm. (2013). El Vaso Altaír, los próximos 15 años del Relleno sanitario la Pradera. Recuperado de: <https://www.epm.com.co/site/home/sala-de-prensa/boletines-estamos-ahi/el-vaso-altair-los-proximos-15-anos-del-relleno-sanitario-la-pradera>

Epm. (2017). Relleno sanitario la pradera. Recuperado de: <https://www.emvarias.com.co/servicios/home/servicio-publico-de-aseo/relleno-sanitario-la-pradera>

Epm. (2018). Norma de construcción de terraplenes. Recuperado de: https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Aguas/NC_MN_OC04_02_Terraplenes.pdf?ver=2018-08-06-072312-947

Instituto Nacional de Vías. (2013). Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras del Instituto Nacional de Vías, Art 220.

Procopal (2020). Ensayos de laboratorio.

Pavco. Manual de diseño con geosintéticos. Novena edición. Bogotá, 2012.

Geomatrix (2020). Geomallas FortGrid UX. Recuperado de: <https://www.geomatrix.co/productos/geomallas/>

