

Rehabilitación del camino de acceso a la toma de aguas del Centro de Producción Hidroeléctrico Río Macho.



Abstract

The main objective of this work is the reconstruction of the access road to the Monte Cristo's take of water in Río Macho, property of Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). During the planning phase, it requires the development of geometric design stages, that is to draw the road having the knowledge of the current national regulations and the topography, roadway design, that involves roadway types and roadway types combinations analysis in accordance with the roadway requirements, secondary works (sewerage, ditches, etc) according to topography and rainfall conditions of the place; also is required site design of dumps to make an optimal management of the waste and bring enough environmental protection to have the minimum damage.

Another objective is to estimate the cost of the work under an execution time program that involves all the activities and the necessary resources.

The necessary materials are well graduated river gravel, sewer pipes and conventional concrete, as well as geosynthetics that improve the roadway structure efficiency and protect the slopes product of the road and the dump construction.

Finally, making use of national employed techniques and with the use of the mentioned materials, the next step will be to make a proposal design of the road according to the arising needs.

Keywords:

**Bases Stabilized with geosynthetics;
Geosynthetics reinforced bases; Access
roads rehabilitation**

Resumen

Este trabajo involucra la reconstrucción del camino de acceso a la toma de aguas de Monte Cristo del Centro de Producción Hidroeléctrico de Río Macho, del Instituto Costarricense de Electricidad ICE, el cual requiere, dentro de su planificación, el desarrollo de las etapas de diseño geométrico, que consiste en trazar el camino de acuerdo con las normas vigentes en el país y según la topografía; el diseño de la superficie de ruedo, que involucra el análisis de las opciones de calzada o combinación de estas, de acuerdo con los requerimientos del camino; el diseño de obras de arte (alcantarillas, cabezales, cunetas, etc) de acuerdo con la topografía del lugar y con las condiciones de precipitación que se puedan estimar en la zona.; el diseño del sitio de escombreras, para hacer un manejo óptimo de los escombros y protegerlos contra la erosión y producir un mínimo impacto.

Se estimará un costo de la obra, así como una programación para la ejecución del proyecto, considerando todas las actividades y los recursos necesarios.

Los materiales empleados son lastre bien graduado de río, tuberías de alcantarillado y concreto convencional, así como el uso de geosintéticos que mejoren la eficiencia de la estructura de la superficie de ruedo, además para la protección de los taludes tanto los que se generan en el camino, como los que se construyan en la escombrera.

Haciendo uso de las técnicas empleadas en el país y con la utilización de los materiales descritos, se procederá a proponer el diseño acorde con las necesidades planteadas.
Palabras clave.

Rasantes estabilizadas con geosintéticos; bases reforzadas con geosintéticos; rehabilitación de caminos de acceso para proyectos del I.C.E.

Plan de ejecución y seguimiento del proyecto de rehabilitación del camino de acceso a la toma de aguas del Centro de Producción Hidroeléctrico Rio Macho.

DANNY TORRES MONTENEGRO

**Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción**

**I Semestre de 2011
INSTITUTO TECNOLOGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

Contenido

Prefacio	1
Resumen ejecutivo.....	2
Introducción.....	6
Metodología.....	7
Resultados.....	18
Diseño de la superficie de ruedo	21
Análisis de resultados	29
Conclusiones	33
Recomendaciones.....	34
Bibliografía	35
Apéndices.....	36
Anexos.....	45

Prefacio

El camino de acceso a la toma de aguas Monte Cristo, es un camino estratégico para el desarrollo de futuros proyectos a realizarse como parte de la modernización del Centro de Producción Hidroeléctrico de Río Macho del Instituto Costarricense de Electricidad, ICE.

El objetivo de rehabilitar esta ruta consiste en generar una vía de acceso a las instalaciones actuales de la toma que capta el agua del Río Macho, y de acá se conduce al embalse El Llano, para dos objetivos: generar corriente hidroeléctrica y abastecer el acueducto metropolitano del Acueductos y Alcantarillados (AyA).

La intención de habilitar un camino en condiciones óptimas en esta zona, toma fuerza cuando a partir de una inspección realizada en el mes de octubre del año 2010, se encontró que las condiciones actuales del túnel de conducción hacia el embalse, no son favorables y que dicha estructura requiere de una intervención inmediata. Sabiendo que no puede dejarse de abastecer el embalse El Llano, se plantea la posibilidad construir un nuevo túnel con una nueva toma de agua a una distancia aproximada de 50 m aguas arriba de la toma actual y así poder hacer las reparaciones que el túnel actual necesita. Una vez concluido este proyecto, la toma de aguas y el nuevo túnel pasarán a ser parte del AyA, para así generar la independencia entre instituciones, de manera que se puedan realizar labores y maniobras de mantenimiento sin la necesidad de depender una de la otra.

Es por las razones antes descritas que el camino de acceso será la arteria por dónde se abastecerán los materiales y equipos para la construcción y remodelación de las estructuras que se requieren en la toma de aguas de Monte Cristo.

El diseño del camino involucra el alineamiento geométrico, el diseño de una superficie de ruedo óptima de acuerdo con las condiciones requeridas, el diseño de las obras de arte complementarias como son las cunetas

alcantarillas cabezales y pasos de agua. Además se diseñará el sitio para el manejo de los escombros y los materiales de desecho.

Este trabajo, debe el agradecimiento por su colaboración al Ingeniero Carlos Jiménez, encargado de construcción de Casa de Máquinas y obras alternas del Proyecto Hidroeléctrico de Pirrís; al Ingeniero Miguel Brenes Soto, encargado del departamento e topografía del Proyecto Hidroeléctrico de Ampliación de Cachí; a los ingenieros Adolfo Meza, Daniel Jiménez y Roberto Madriz, asesores de ventas proveedores del ICE y al Ingeniero Milton Aguilar Zamora, coordinador administrativo del Proyecto Modernización de Río Macho.

Resumen ejecutivo

Este documento contiene información que ayudará al Proyecto Modernización de Río Macho del ICE, a tener un valor aproximado del costo, de las técnicas, equipo, materiales, mano de obra y programación necesaria para la rehabilitación del camino de acceso a la toma de aguas de Monte Cristo en Río Macho.

En resumen, este documento muestra los pasos necesarios para generar una propuesta económica de rehabilitación de un camino, echando mano de la tecnología con la que se cuenta hoy día para hacer la reducción de materiales y uso de equipos, aportando así a la economía del proyecto, pero siempre dando atención a las necesidades que se plantean.

El camino de acceso a la toma de aguas Mote Cristo en Río Macho, se utilizó en los años sesentas para construir la toma de aguas actual, que abastece el acueducto de agua potable al acueducto metropolitano, además se utiliza para la producción de energía hidroeléctrica en el Centro de Producción de Río Macho ubicado en Orosi de Cartago. Una vez concluida la vida útil de esta estructura, surge la necesidad de hacer una remodelación de los equipos y de las estructuras del lugar como compuertas, marcos de izaje entre otros, con el fin de seguir brindando los servicios antes mencionados, para continuar colaborando con el desarrollo sostenible del país y seguir garantizando un servicio de agua potable de alta calidad. Es por esto que, como parte del a remodelación y la posible construcción de una nueva toma de aguas para AyA, se retoma la idea de habilitar este camino, para poder hacer el ingreso de los equipos y maquinarias que se requerirán durante la reconstrucción además de las estructuras previas necesarias para la ejecución del proyecto.

Es por eso que la reconstrucción de este camino se replanteó de la siguiente manera:

Primeramente se planteó una etapa previa de recopilación de información en la cual se dio a la tarea de averiguar el tipo de estructuras que se requerían en la zona, llegando a la conclusión

que para poder remodelar el túnel de conducción principal al embalse EL Llano, se requería de la construcción de un pozo de acceso a la corona del túnel proveniente de Tapantí, con la intención de generar un *by-pass* que permita trabajar en condiciones secas en la reconstrucción del túnel antes mencionado.

Por otra parte, la construcción de una nueva toma de aguas a 50 m aguas arriba de la actual, requiere hacer un ingreso de equipo y materiales para esta actividad.

Obtenida esta información se procedió a buscar planos de constructivos de las obras, con el fin de identificar la ubicación y una noción de las estructuras, como el túnel proveniente de Tapantí, así como sus dimensiones. Esto permitiría hacer una estimación de profundidades.

Se realizó una visita al Proyecto Hidroeléctrico de Balsa Inferior, el cual se encuentra en proceso de construcción, con el fin de tener una noción de los trabajos a realizar en la toma de Monte Cristo. De aquí se determinó la forma posible del pozo de acceso al túnel, del volumen de trabajo que este requiere, de los equipos necesarios a emplear y la magnitud de trabajo de una obra similar. Con esta información y la profundidad y ubicación de este túnel, se procedió a determinar un volumen de material que eventualmente se debe excavar y acarrear, generando indirectamente un valor aproximado de tránsito que circularía por este camino.

Por otra parte se analizaron planos antiguos de la toma existente y se llegó a la conclusión de que la posible nueva toma de aguas tendrá una configuración similar en dimensiones y forma a la actual, por lo que se usó este plano como referencia para, de igual manera, generar una idea de la excavación a realizarse, así como un volumen de acarreo que también transitará por el camino. Todo esto con el fin de obtener un volumen de tránsito de diseño o ejes equivalentes para los cuales debiera ser diseñado este camino. De esta forma se llegó a la

conclusión de que el número de ejes equivalentes de diseño de este camino será de aproximadamente 27.000 ejes de 8.200 kg cada uno.

Una vez abierta la trocha del camino, y según observaciones realizadas en campo, se determinó la necesidad de hacer como mínimo seis pruebas de CBR del material presente en la subrasante del sitio, obteniéndose valores de CBR desde 2.1% hasta un valor máximo mayor del 7 %. Además, se solicitó al proveedor de lastre las características de compactación proctor y de CBR de este material con el fin de generar un diseño óptimo de las superficie de ruedo, la cual consistiría básicamente en colocación de una capa de rodadura flexible de material granular; estas propiedades dieron como resultados un material con un peso específico compactado al 95% del próctor estándar de 2,2 ton/m³, y un CBR superior al 60%. Es así como aplicando la metodología de diseño AASHTO 1993 y del CRM 2010, para un camino sometido a las cargas antes establecidas, con un características de suelos antes descritas y con la colocación de un material de base con ciertas propiedades y un determinado número estructural, se determina un espesor de aproximadamente 21 cm bajo condiciones críticas de diseño, es decir, con CBR mínimos obtenidos.

Además, con la intención de hacer uso de las nuevas tecnologías, se procedió a hacer un diseño de la superficie de ruedo con las mismas características de materiales y sometidos a las mismas cargas de diseño, pero en este caso adicionando una geomalla biaxial, que se encarga de generar una mejor redistribución de esfuerzos, manteniendo confinados los agregados y mejorando el valor del número estructural, siempre con el respaldo de la norma AASHTO 1993, obteniéndose un espesor de diseño de 13,66 cm, mejorando de forma sustancial en materia de presupuesto.

Se propone además para las secciones en curva del camino, una estabilización del lastre, con cemento, con el fin de evitar la migración del material por efecto del giro de las llantas de los vehículos, además de proporcionar una pendiente con mayor agarre y fricción. Para tal caso, se utilizó la dosificación presente en la Tabla requerimientos de cemento para varios tipos de suelo, del US Department of Transportations que, para un suelo con las

características de la base a colocar, se sugiere un 9% del peso en material cementante.

El alineamiento topográfico de la poligonal del camino se planteó al departamento de topografía con referencia a un levantamiento previo, con base a este, se plantearon las curvas horizontales del camino, en función de la topografía del lugar y cumpliendo con lo establecido en el Manual Centroamericano de Normas para Carreteras Regionales de la SIECA.

Sin embargo, se solicitó al departamento topográfico realizar un levantamiento con mayor nivel de detalle con el fin de obtener información como pendientes del camino, secciones de corte, secciones de relleno y curvas de nivel, para así proceder al diseño de la rasante del camino además del diseño del resto de estructuras que se requieren como las de evacuación de aguas.

Gracias a este trabajo, se lograron establecer las pendientes apropiadas para el desempeño de equipos de acarreo obteniéndose un total de material de corte de 4.800 m³ de material, así como un volumen de relleno superior a los 3.600 m³ en banco.

Existen secciones de relleno presentes en la para lograr al nivel de la rasante de diseño del camino cercanas a los 150 m, que requieren de algún sistema de estabilización, por lo que se procede a la propuesta muros estabilizados con geotextiles con el fin de proponer un sistema relativamente económico y de bajo impacto en la zona. La altura de diseño de este muro es de 3,2 m con una inclinación de la cara del talud de 70° y sometidos a esfuerzos provocados por la carga muerta del talud, además y cargas vivas producidas por un vehículo tipo tándem con peso estándar. Basados en lo anterior, se procedió a efectuar el diseño de dichos muros, cumpliendo con los valores mínimos de factores de seguridad establecidos en el Código de Cimentaciones de Costa Rica, el cual requiere de hacer un análisis tanto de la estabilidad interna del muro, como la estabilidad global del mismo, cumpliendo con la estabilidad al deslizamiento y al volcamiento, ya sea en condiciones estáticas como dinámicas o sísmicas. Es así como se llegó a la conclusión de la utilización de un sintético, confinando capas de 30 cm de espesor, con un esfuerzo de fluencia de aproximadamente 30 kN/m, obteniéndose factores de seguridad al deslizamiento de 2,48 y de 1,34, sin sismo y con sismo respectivamente, cuando las mínimas exigidas por norma son 1,5 y 1,25, sin sismo y con sismo respectivamente.

Además, el factor de seguridad al volcamiento fue de 20,5 y de 11,5; para condiciones sin sismo y con sismo respectivamente, obteniéndose una estructura estable y que no requiere de equipo muy sofisticado para su construcción.

Con respecto al manejo de las aguas pluviales que escurrirían por el camino, se procedió a obtener las curvas de nivel con ayuda del programa Surfer 9.0, del cual se generaron las curvas de nivel del sitio a cada 10 m, con el fin de determinar el área de influencia del terreno que escurriría al camino así como la pendiente media. La determinación del caudal de escorrentía se hizo basada en el método racional, el cual considera un área de influencia, la pendiente media del terreno y un tiempo de concentración para un evento de diseño. Cabe mencionar que el gran total del área de influencia del camino, está cubierta por material boscoso, además se dividió todo el área de influencia en aproximadamente nueve secciones de influencia, con el fin de determinar los caudales de escorrentía.

Con ayuda de nomogramas se procedió a realizar la estimación del coeficiente de escorrentía (*i*) del lugar y con la intensidad de lluvia para la zona atlántica del país, con un tiempo de concentración que lo determina la pendiente media del canal y es cercano a los 5 min, además del período de retorno de las lluvias de 10 años, se determinó el caudal de escorrentía que se debe de manejar a lo largo del camino. Una vez obtenido este valor, se procedió a determinar la sección óptima del canal con la de manejar los valores de caudal determinados anteriormente, para esto se consideraron dos tipos de secciones: la sección “V” y la sección “U”. Se consideró la fricción del material, la pendiente del canal el radio hidráulico de cada una de las cunetas propuestas para el manejo de un flujo uniforme según la fórmula de “Manning” generándose las dimensiones de cada sección y determinándose cuál de las secciones se adapta mejor a las condiciones de diseño planteadas y que cumple con el manejo deseado.

Por otro lado, los pasos de agua fueron diseñados en función del aprovechamiento de materiales existentes en bodegas, consistentes en tubos tipo Ribloc de 90 cm de diámetro para los cuales se hicieron los análisis de presión y esfuerzos producidos por las cargas muertas del material sobre la corona del tubo, además de los efectos de la carga vivas a las cuales serán

sometidos, cumpliendo con los parámetros establecidos por el fabricante para garantizar el óptimo desempeño.

Asociados con los pasos de agua, se encuentran las estructuras complementarias, como lo son cajas de alcantarillas los cabezales y los delantales necesarios para evitar la socavación de estas estructuras, todo esto con base en lo establecido en el CRM 2010, para así cumplir con lo establecido en la normativa nacional.

Anteriormente se habló de la cantidad de materia la depositar como escombros y es precisamente la ubicación de la escombrera parte importante de los costos de la rehabilitación del camino que se plantea la ubicación del sitio de escombrera a una distancia aproximada de 1,8 km del camino de acceso, con una capacidad de acomodo cercana a 12 000 m³ de material en banco, por lo que se procedió a realizar una propuesta geométrica de los taludes y, seguidamente, una revisión de su estabilidad, considerando que las propiedades del suelo que se va a colocar en este sitio es de suelo cohesivo, con un peso específico de 1.6 ton/m³.

Con la ayuda del programa SLIDE 5.0, se modelaron los taludes propuestos y se determinó que el factor de seguridad de dicha escombrera es de 4.17 y 2.15, para condiciones estáticas y dinámicas respectivamente. Se establecieron lineamientos mínimos para prevenir el efecto de la erosión de la escombrera, como la construcción de cunetas en las bermas de los taludes, construcción de drenaje y la protección en la cara del talud con geomallas.

Con respecto a la programación de la construcción de este proyecto, se propuso realizarlo en dos etapas. Una etapa previa, que consiste en la preparación del camino, así como dotarlo de estructuras temporales para el manejo del agua con el fin de evitar su erosión, además de hacer un trabajo de desrame de árboles presentes en el lugar, para así propiciar el secado de la superficie de suelo lograr de esta manera un suelo un poco más conformado en el momento de la construcción del camino. Es en esta misma etapa, además, que se procedería a hacer todas las contrataciones necesarias, tanto de equipo como de mano de obra y servicios, así como las compras materiales establecidos en la etapa previa de diseño.

La segunda etapa es la etapa que constructiva. Supone que las actividades de construcción se

deben desarrollar para el primer trimestre del 2012, con la intención de aprovechar las mejores condiciones climatológicas, y así obtener un mejor tiempo efectivo de ejecución de los trabajos, suponiendo la poca presencia de lluvias.

Esta etapa de construcción está organizada en siete secciones de camino, las cuales cumplirán un ciclo muy similar de actividades. Dicho ciclo consistirá en la realización de la limpieza del material orgánico, seguido de la colocación de tubos de pasos de agua, y construcción de alcantarillas y cabezales con delantales, según se requiera, además de las actividades de corte y relleno. Seguidamente se procederá a la colocación del refuerzo de malla biaxial y luego la colocación y conformación del material a utilizar como material de base del camino, colocando además el cemento necesario en los tramos establecidos, haciendo además la construcción de muros estabilizados con geosintéticos, donde así se requiera.

Por otra parte, la conformación de la escombrera es una actividad que deberá iniciarse con el período de construcción del camino, y estaría en desarrollo en paralelo con el resto del proyecto.

Los costos, como uno de los objetivos principales de este proyecto, se determinaron a partir de las condiciones requeridas para este proyecto, considerando la utilización de equipos disponibles en la empresa. Además, de acuerdo con la magnitud de las actividades y tareas pendientes, se procedió a estimar el costo de la mano de obra con el fin de garantizar el cumplimiento de los plazos previstos.

En total por concepto de materiales se requiere un subtotal de ¢131.248.508,00 colones; Por concepto de mano de obra se requiere de un subtotal de ¢36.684.164,00, mientras que por concepto de subcontrato de maquinaria, se tiene un costo de ¢197.800.780,00 colones exactos, Además de otros costos no directos del camino por un subtotal de ¢13.421.550,38; generando un gran total de ¢379.155.002 colones exactos.

La inversión antes descrita, requiere que cada proceso se haga garantizando la calidad de los materiales, así como la calidad de los procesos constructivos de todo el proyecto. Es por esto que se establecen medidas de control e calidad, como pruebas de laboratorio de materiales, como las pruebas solicitadas al proveedor del material de lastre, a quien se le solicitó datos de compactación proctor del

material a colocar, así como los datos de CBR. Además se procedió a realizar las pruebas de CBR y compactación proctor del material de subrasante, con el fin de diseñar la estructura de la superficie de ruedo, además de hacer el diseño de la estabilidad de la escombrera. Adicionalmente se procedió a proponer un plan de control de calidad durante la construcción del camino el cual básicamente consiste en hacer chequeos de compactación de campo a las capas de material colocado, para de esta manera garantizar que los diseños previamente propuestos cumplirán con objetivos planteados al inicio de este proyecto.

Para la construcción de la escombrera, se solicitarán pruebas de campo de corte con veleta, para así garantizar la estabilidad de la estructura. Además se realizó un diseño de mezclas basado en los agregados que se encuentran en el sitio, con el fin de mantener un equilibrio entre la economía y la calidad de los concretos propuestos en el proyecto, ya sea para la construcción de cabezales, alcantarillas y cunetas.

Siguiendo adelante con los objetivos de este proyecto, se propuso un plan de mantenimiento, el cual básicamente consiste en mantener todas las estructuras de drenaje en condiciones apropiadas para que puedan drenar las aguas eficientemente lo más rápido posible y evitar que la erosión provoque un deterioro importante en la capa de ruedo. Como la capacidad de drenaje de la estructura del pavimento afecta directamente el valor estructural de camino, los espesores propuestos están en función del drenaje estimado. Además, un buen plan de mantenimiento se traduce en un índice de servicio apropiado con el paso de los años y, de esta manera cuando se requiera de una rehabilitación, los costos de inversión no serían tan elevados como si se tuviera que pensar en una reconstrucción.

Lo expuesto anteriormente muestra una propuesta de rehabilitación del camino de acceso a la Toma Monte Cristo, contemplando todos los aspectos de un diseño de acuerdo con las necesidades planteadas, tratando de generar el menor impacto posible y planteado una programación y un presupuesto que garantice la construcción de una obra de calidad.

Introducción

El Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) se caracteriza por ser pionero en obras de infraestructura de gran envergadura, ya desde la mitad del siglo XX. Hoy día muchas de esas estructuras han cumplido con su período de vida útil, por lo que actualmente se encuentran en proceso de remodelación.

Con el proyecto de modernización del Centro de Producción de Río Macho, se pretende la renovación, tanto de equipo como el resto de la infraestructura que involucra la captación, la conducción y el almacenamiento del recurso hídrico para la producción eléctrica. Parte de esta infraestructura es la toma de aguas de Monte Cristo, la cual a cumplido con un período de vida útil de 50 años y para su remodelación se debe pensar en la vía de transporte de equipos y de materiales. Es por esto que se pretende retomar el camino de acceso a la toma de aguas que existió en el período de construcción, hace ya 50 años pero en los cuales su pico máximo de flujo de tránsito se dé en los siguientes 3 años, en los cuales se desarrolle la modernización de la toma Río Macho. Esta rehabilitación necesita todo el diseño que involucra la construcción de un camino que requiera una vida útil igual o mayor a 50 años, en el que se deben transportar cargas considerables para una obra civil como una toma de aguas.

Es por eso que se pretende con este trabajo generar un plan de ejecución y seguimiento de las actividades involucradas en la construcción del camino.

Para lograr el planteamiento anterior, se establecen los siguientes objetivos específicos:

Diseño completo del camino, que involucra tanto el alineamiento vertical como horizontal, así como el diseño de la estructura de ruedo del camino, además de los drenajes respectivos, todo esto de acuerdo con los análisis de laboratorios, levantamientos topográficos y datos de precipitación promedio, respectivamente.

Hacer un presupuesto detallado a partir de los planos y especificaciones sugeridas, contemplando los recursos como equipos, materiales y mano de obra dispuestos para este proyecto.

Se hará una programación, a partir de la recopilación de la información y empleando los recursos con los que se puede contar en este proyecto, con el fin de cumplir con los plazos establecidos e identificando aquellas actividades críticas que afectan el cumplimiento del desarrollo del proyecto.

Para la rehabilitación del camino, realizar el diseño de sitios de escombrera, de acuerdo a normas ambientales vigentes para este tipo de actividades.

Si bien es cierto, para el diseño de caminos se maneja un estudio del tránsito promedio diario (TPD), la proyección de este dato es difícil de manejar para este camino en específico, ya que los proyectos a los que debe dar servicio este camino requieren del paso de camiones que acarrean diferentes tipos de cargas, por lo que establecer una cantidad de ejes equivalentes es de mucho criterio, basado en experiencias de proyectos similares. Además, el alineamiento y los anchos de carril que se propondrán se encuentran sujetos principalmente a las condiciones topográficas del lugar las cuales son muy severas debido a las ubicación en montaña y debido a esta condición, se debe cumplir con las normas y lineamientos ambientales que los restringen, especialmente cuando se deba realizar alguna corta de árboles o alguna tarea que genere un impacto significativo en el ambiente

Metodología

Recopilación de información

Consistió en la información detallada del proyecto, teniendo acceso a los planos existentes, reuniones de trabajo, visitas de campo y reuniones de coordinación en las cuales se plantearon las necesidades del proyecto, de los trabajos que se realizarán en las tomas de agua del Centro de Producción de Río Macho. Además de las visitas programadas a diferentes proyectos en todo el país, con el fin de obtener información sobre los caminos construidos, metodologías empleadas y experiencias.

A partir de un levantamiento previo existente, se plantea el alineamiento de la poligonal del camino, en función de la realidad presente en el sitio.

Diseño geométrico

A partir de la información solicitada, como el levantamiento topográfico de la trocha, se ubicó la poligonal del camino basados con las normas y especificaciones del manual de la SIECA, aplicables a este camino, como sobre anchos, uso de cunetas, vehículos de diseño, anchos de carril, estimación de los ejes equivalentes, etc.

El desarrollo del alineamiento del camino se hizo aplicando el diseño de curvas horizontales y verticales, manteniendo pendientes mínimas posibles.

Del Manual Centroamericano de la SIECA se utilizaron las siguientes ecuaciones.

Ecuación de radio de curva:

$$R = \frac{T}{\tan \Delta/2} \quad (1)$$

Donde:

R: Radio de la curva.

T: Tangente de entrada de la curva. Es la distancia entre el PC y el PI de la curva.

Δ : Ángulo de desviación de las tangentes o ángulo de la curva.

Ecuación Externa de curva:

$$E = R(\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1) \quad (2)$$

Donde:

E: Externa, distancia que se tiene desde el PI hasta el punto medio de la curva.

Ecuación de longitud de la curva:

$$L = \frac{\pi \Delta R}{180} \quad (3)$$

Donde:

L: Longitud de la curva, comprendes desde el PC hasta el PT.

De esta manera se tienen los elementos básicos para replantear una curva horizontal para cada uno de los casos, aplicando las ecuaciones anteriores.

Respecto al alineamiento vertical, se requirió de un levantamiento topográfico del camino, solicitada al Departamento de Topografía del Proyecto de Ampliación del Centro de Producción Cachí.

Muros de tierra armada para el camino

Debido a que los niveles de la rasante deben de reacondicionarse para generar una pendiente más favorable para el tránsito de maquinaria pesada, en los lugares dónde se requieren hacer levantamientos de la rasante importantes, se propuso la construcción de muros de estabilizados con geosintéticos y para su diseño se consideraron las siguientes premisas:

Con ayuda del programa Geosoft v 2.0 de PAVCO, se plantea el siguiente modelo de cargas sobre el relleno.

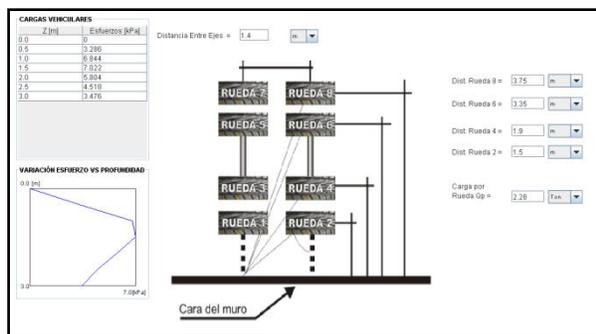


Figura 1. Esquema de cargas producido por la carga viva de un camión con eje tándem. Fuente: Diseño de Muros Reforzados con Geosintéticos PAVCO.

Estabilidad Interna del Muro

Para el caso de este relleno, no se tiene empuje por sobrecarga, el cual corresponde únicamente a material o estructuras superpuestas sobre el muro. Sin embargo, se tiene el empuje por cargas vivas que corresponderán al efecto de un camión tipo tándem de 2 ejes, con separación entre los ejes de 1.4m, y separación entre ruedas de 0.4m, con una carga de 2.2ton y la distancia de las ruedas al frente del muro 1.5m. El diagrama de sobrepresiones de la figura 1 muestra que para la configuración de carga viva descrita anteriormente, se tiene una presión máxima de 7.02kPa a los 1.5m de profundidad del muro, además de los distintos valores conforme se profundiza más en el muro.

Basados en los datos anteriores, se determinó, con la ayuda de la herramienta de diseño

Geosoft PAVCO versión 2.0, de Mexichem, para el diseño de refuerzo de suelos con geosintéticos, se obtiene que el muro estabilizado por geotextil, requiere de una primer capa de material confinado de 30cm de espesor, con el geotextil de tipo TT 050, que corresponde a un geotextil con un fluencia de 51.5 kN/m, con un L de empotramiento final de 5.40m. En el apéndice 4 se muestra en detalle la distribución sugerida del refuerzo conforme se profundiza en el relleno.

Estabilidad al deslizamiento

En condiciones estáticas se tiene un total de fuerzas actuantes de 40.39kN y la capacidad de la estructura bajo las condiciones previamente establecidas es de 100.09. de esta manera, se tiene un factor de seguridad estático de 2.48 y el mínimo establecido por el Código de Cimentaciones de Costa Rica es de 1.5. Por otra parte, para el análisis de la estabilidad del muro bajo condiciones dinámicas de deslizamiento se tiene lo siguientes; Fuerza resistente 100.09kN, mientras que la fuerza actuante es de 74.69kN para un factor de seguridad de 1.34, mayor a 1.25, mínimo establecido en el Código de Cimentaciones de Costa Rica.

Estabilidad Externa del Muro

Se debe hacer una verificación de la estabilidad del muro ante condiciones de deslizamiento y volcamiento en condiciones estáticas y dinámicas. Igualmente, se tiene un muro que requiere de un desplante de su cimentación a 1.8m, además que las propiedades del material son un ángulo de fricción interna de $\phi=30^\circ$, un peso específico de $\gamma= 2.1\text{ton/m}^3$ y una cohesión de 0kPa.

Según el Código Sísmico de Costa Rica CSCR 2002, la zonificación sísmica del cantón de Paraíso, Cartago, es la zona III, y de acuerdo con las características del suelo de la zona, se tiene un sitio de cimentación tipo S4. La Tabla 2.2. Aceleración pico efectiva de diseño, se tiene una aceleración de 0.36 para un suelo con la ubicación y el tipo de cimentación antes descrita.

Para efectos de consideración del efecto de la aceleración vertical del suelo en

condiciones de sismo, se considerara un 10% de la aceleración horizontal en el sentido vertical. De esta manera se determinan los siguientes parámetros:

Coefficiente de presión activa estática (k_a): 0.333

Coefficiente de presión dinámico (k_{as}): 0.689

Bajo las condiciones anteriores y con la ayuda del programa de diseño PAVCO versión 2.0, se obtuvieron los siguientes resultados de la estabilidad del externa del muro.

Estabilidad al volcamiento

De igual manera al anterior, para condiciones estáticas del muro se tiene un momento actuante de 46.71kN-m, para un factor de seguridad de 20.57; además en condiciones de sismo se tiene un momento actuante de 83.30kN-m, para un factor de seguridad de 11.53.

Los datos anteriores se encuentran en el apéndice 3, el cual muestra con más detalle, los valores obtenidos y las condiciones de diseño establecidas, de los cuales se obtuvieron los factores seguridad anterior.

Diseño de alcantarillas y cunetas

Mediante el uso de hojas cartográficas e información de precipitación de la zona se diseñaron los pasos de agua y las alcantarillas y cunetas. A partir del levantamiento de puntos con ayuda del programa SURFER 9.0 se obtuvo la topografía del área de influencia del camino.

La estimación de caudal se hizo por el método racional, el cual permite determinar la cantidad de agua llovida en un área estimada que llegará al sistema de drenaje en un tiempo y en un período de retorno que para nuestros requerimientos debe ser igual a o mayor de 50 años. Para este método se estimó un coeficiente

de escorrentía, el cual está en función de la pendiente promedio del terreno, del tipo de cobertura del terreno, si boscoso, destinado pastos, cultivos, entre otros, además de la permeabilidad de éste. Por otra parte, se estimó una intensidad de lluvia por hora que va de acuerdo con la longitud tributaria que aporta a la cuenca, la diferencia de niveles de esta. Para la determinación de esta intensidad de lluvia, se utilizó la curva de intensidad de lluvia para la provincia de Cartago, de la figura 3.34 “Curva Intensidad – duración – período de retorno para la ciudad de Cartago” del libro Hidrología, de Máximo Villón Bejar, Editorial Tecnológica de Costa Rica. Del cual se determina la intensidad de lluvia para efectos del cálculo de caudal de evacuación.

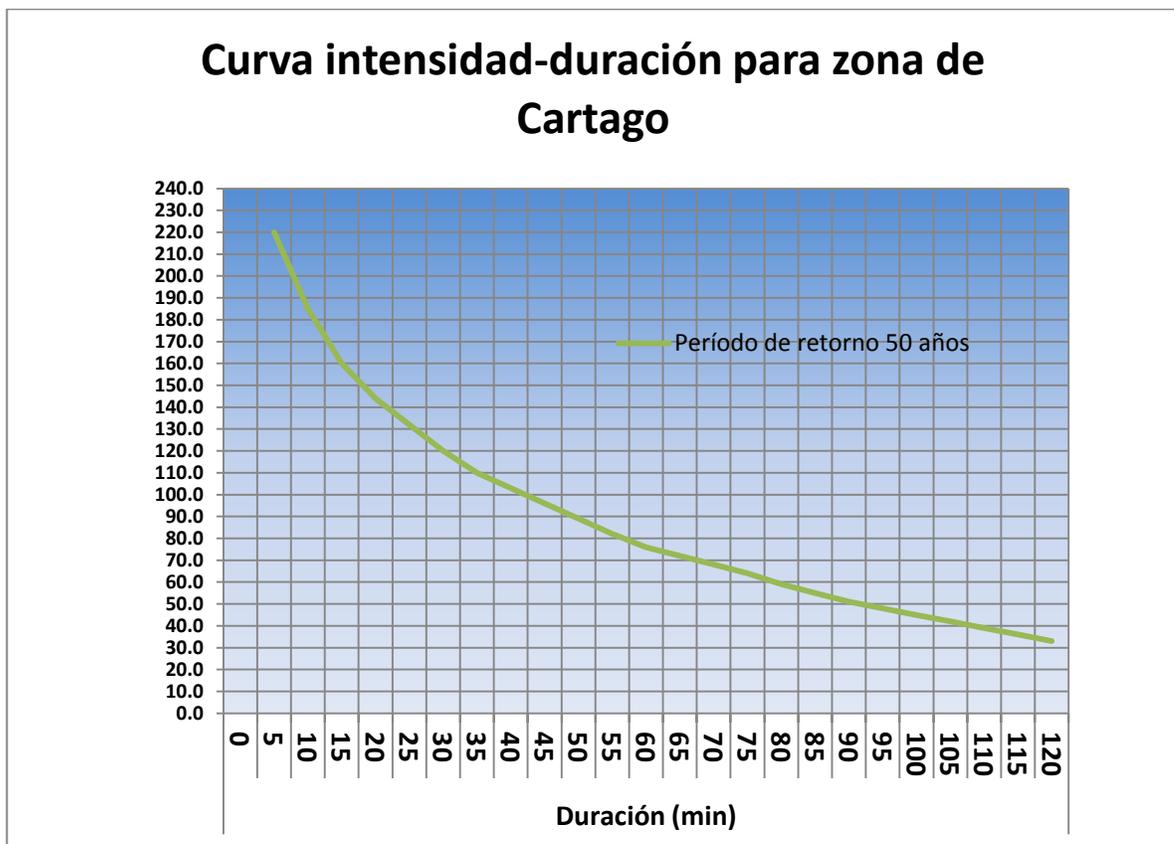


Gráfico 1. Curva Intensidad de Lluvia – duración para un período de retorno de 50 años para la ciudad de Cartago.

El área tributaria de la que se habla en el método racional, se determinó con la ayuda de

las curvas de nivel anteriormente mencionadas, esto con el fin de evacuar la lluvia para esta zona. La longitud que se requiere para determinar la intensidad de lluvia será la longitud promedio de esta área tributaria.

Una vez determinados los factores anteriores se calculó el caudal de diseño para cada una de las alcantarillas y cunetas.

Diseño de la superficie de ruedo

Según la observación de campo, se determinó que, por la variación del suelo presente en el sitio, se requería de al menos seis pruebas de laboratorio. Es por eso que se solicitó hacer las pruebas CBR a la sub rasante, con el fin de determinar la capacidad de soporte del terreno.

Una vez obtenidos los resultados, se procedió a determinar si la subbase requiere de alguna estabilización, o bien, cuales son los tramos que requieren estabilización y cuales es más conveniente sustituir el terreno por un material granular.

Seguidamente, se procedió a hacer el diseño de la opción de lastre, el cual se hizo bajo el concepto de diseño de base de un pavimento flexible, con la diferencia de que no lleva carpeta asfáltica. La metodología de diseño utilizada es la de la AASHTO, la cual diseña para esfuerzos, deformaciones máximas y deflexiones.

Se calcularon los esfuerzos asociados a la estructura de acuerdo con las cargas estimadas para un volumen de trabajo proyectado para la construcción de una toma de excavación de un pozo.

A continuación se indica la metodología para el cálculo de los factores necesarios para estimar el número estructural para la superficie de ruedo.

Índice de Servicio (ΔPSI)

Ecuación de índice de servicio de caminos:

$$\Delta PSI = P_o - P_T \quad (4)$$

Donde:

P_o : es la condición de la superficie inicial inmediatamente después de su construcción.

P_T : es la posición en la que la superficie requiere de alguna rehabilitación.

La AASHTO indica que para un pavimento flexible nuevo se considere un P_o de 4.2; mientras que en la *Tabla de valores típicos terminales P_T* del anexo 2 se recomienda un P_T de 2.0 para carreteras secundarias. De esta manera, se establece que el Índice de Servicio de AASHTO, ΔPSI para este camino es de 2.2.

Confiability (R)

Este valor se refiere a la esperanza que se tiene que el pavimento cumpla con la vida útil establecida para las cargas estimadas y se determina según los parámetros indicados en la tabla *Niveles de confianza sugeridos para diferentes tipos de carreteras*, del anexo 3.

Basados en la tabla anteriormente mencionada, se estima que el nivel de confianza (R) ronda el 50%, valor que se encuentra en el rango establecido para vías de acceso y calles en general.

Por otra parte, la desviación estándar total que sugiere la AASHTO es $S_o=0.45$; para pavimentos flexibles esto tiene que ver con la variabilidad de los materiales que se emplean, además de la práctica constructiva.

La tabla del anexo 3, establece que la desviación estándar normal. Para un nivel de rehabilitación igual al 50% es de 0, de esta manera se tiene que:

$$Z_R \times S_o = 0 \quad (5)$$

Donde:

Z_R es la desviación estándar normal para un nivel de rehabilitación específico.

S_o es la desviación estándar en desempeño. Para pavimentos flexibles se tiene que es de 0.45

Coefficiente de drenaje (mi)

El método AASHTO considera el deterioro que sufre la estructura por efecto del agua durante la vida útil de la vía, por lo que introduce dentro de su fórmula el factor m_i , que está relacionado con la capacidad de drenaje que tendrá la superficie

de acuerdo con las características de las diferentes capas que componen la estructura de ruedo.

La tabla de anexo4 indica los valores del factor m_i establecidos para diferentes condiciones de humedad, considerando la permeabilidad de las capas que constituyen estructura del pavimento.

Tomando en cuenta las condiciones de lluvia que se presentan en la zona (saturación mayor al 25% del tiempo), así como la baja permeabilidad de la subrasante del camino, debido a que está conformado por suelos finos de alta plasticidad, se estima que el coeficiente de drenaje m_i ; según la tabla del anexo 4, es de 0.60.

Coeficiente estructural (a_i)

La determinación del coeficiente estructural a_i se hizo utilizando valores de CBR que se relacionan de acuerdo con la ficha mostrada en el anexo6, la cual funciona como una guía para determinar un valor CBR de campo, relacionando ciertos aspectos observados en el sitio.

Una vez establecido el valor CBR de la subrasante, se procede a establecer el valor del módulo de rigidez, que se estima para esa capa. Con ayuda del nomograma presentado en el anexo6, se determinó el valor del coeficiente estructural a_1 para asfaltos flexibles, lo cual es el caso de las superficies de lastre.

Considerando lo anterior se tiene lo siguiente:

Una vez establecido el número estructural de la base, se procede a establecer el espesor necesario para soportar las cargas anteriormente estimadas bajo las condiciones dadas.

Lo observado en campo concuerda con la descripción de un suelo de consistencia media, tipo arcilloso, el cual se relaciona con un CBR entre 0.8 y 1.6, según el anexo6. Para efectos de este diseño se estimó 1.6.

De esta forma se determina un valor M_R el cual según la figura3 del Yang Huang ubicada en el anexo6, para un suelo con un CBR cercano a 1.6, se obtiene un módulo de rigidez de 2700psi.

Ahora bien, del proveedor se tiene un material de lastre que se usará como base, con CBR de 67, según lo muestra el anexo7, del cual

se obtiene un M_R de coeficiente estructural a_1 de 0.12; según la figura del anexo6, *Tablas de correlaciones para estimar el módulo resiliente de bases*.

Numero estructural (SN)

Una vez obtenidos los valores anteriores, se procede al cálculo del número estructural del pavimento flexible propuesto con la aplicación de la siguiente ecuación:

Ecuación de diseño de pavimentos flexibles, según AASHTO 1993.

$$\log(W_{18}) = Z_R * S_o + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log(M_R) - 0.87 \quad (6)$$

Donde:

SN es el número estructural de la superficie de ruedo.

M_R es el módulo de rigidez de la subrasante

Mediante el uso de la fórmula anterior y los datos obtenidos, se proceda a estimar el espesor de la capa base con la siguiente ecuación:

Ecuación de diseño de espesor de pavimentos flexibles, según AASHTO 1993.

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1 * m_1} \quad (7)$$

Donde:

m_1 = Coeficiente de drenaje de la subrasante.

De esta manera se tiene (ver apéndice3) que el espesor de la base para un pavimento flexible sin refuerzo es de 20.35cm, con CBR en la base de 60%.

Sin embargo, se plantea la siguiente ecuación para un pavimento con refuerzo de geomallas.

Ecuación de efecto de geomalla en la disminución del espesor de la base.

$$h_1 = \frac{SN_1}{LCR * a_1 * m_1} \quad (8)$$

Donde:

LCR es el valor del coeficiente de reducción de espesor de la geomalla utilizada.

El valor del coeficiente LCR de la formula anterior se determina en el anexo8, el cual establece un valor LCR para un CBR dado.

Para el caso de una geomalla con esfuerzo de ruptura a los 30kN/m², un CBR de la subrasante de 2.1%, se obtiene un valor de LCR de 1.49 aproximadamente, obteniéndose un espesor de capa de base de 13.61cm, según se muestra en el apéndice3 y aplicando la ecuación 8.

Como se puede observar, el uso de este refuerzo significa una disminución de material en la capa de rodadura de aproximadamente un 33% con respecto a la base sin refuerzo; considerando que la colocación de este material solo requiere de la extensión de una malla con

ayuda de 4 personas, en un periodo corto de tiempo, se platea de esta manera un ahorro considerable de recursos y de tiempo dentro de la actividad de colocación de estructura vial.

Estabilización con cemento

La estabilización de la base con cemento Portland se considerará en las secciones en curva horizontal y que tienen una pendiente alta, con el fin de evitar el desprendimiento del material debido a la fricción que ejercen las llantas de los vehículos cuando éstas van girando, lo que produce un efecto de desplazamiento del material de la base.

La dosificación que se requiere se determina en el anexo11, Tabla de Requerimientos de cemento para varios tipos de suelo. Para un suelo con clasificación AASHTO A-1b (similar a la base que se utilizará en el camino) se establece que el rango usual de cemento requerido por volumen es de un 9%.

Estructuras de Drenaje

El diseño de las estructuras de drenaje propuestas se obtuvo por medio del Método Racional para la Estimación de Caudales de Escorrentía en un área dada.

La fórmula utilizada para este cálculo fue la siguiente:

Ecuación de estimación de caudal de escorrentía por el Método Racional.

$$Q = C * i * A \quad (9)$$

Donde:

Q: caudal de escorrentía de la cuenca.

C: es el coeficiente de escorrentía.

i: es la intensidad de la lluvia.

A: área de la cuenca.

El diseño de toda la estructura de drenaje se desarrolló para secciones del camino, por lo que las consideraciones generales estimadas se plantean a continuación.

Para el coeficiente de escorrentía *C*, se consideró la pendiente promedio de cada sección, el uso que se ha dado al suelo, además de la permeabilidad presente, esto como parte de los datos de entrada requeridos en la figura Coeficiente de escorrentía para zonas rurales, y para cada sección de camino se estimó un coeficiente de escorrentía entre 0.30 y 0.35, definidos según la pendiente media de cada sección, un tipo de suelo con vegetación densa y bosque, se obtiene un terreno semipermeable.

Ahora bien, con la pendiente media de la cuenca, y la longitud del canal de estas cuencas, se obtiene con la ayuda del nomograma de la figura 2 presente en el anexo 10 un tiempo de concentración máximo de 5 min, el cual se utilizará para determinar la intensidad de la lluvia

Es así cómo, la intensidad de las lluvias se obtiene indicando un tiempo de concentración de 5 min en la figura 2 de este documento y utilizando la curva de período de retorno de 50 años, obtenemos valores de intensidad de lluvia máximos de 220mm/h.

Cómo siguiente paso, y con los programas de modelos topográficos (SURFER), se determinan las áreas de las secciones propuestas, además de la pendiente media de la "cuenca", para de esta forma determinar un

caudal de escorrentía que llegará a aportar al sistema de alcantarillado.

En el apéndice 5 se encuentra la memoria de cálculo utilizada para la determinación de dichos caudales. Además, se muestran las secciones consideradas como secciones a utilizar para las cunetas, las cuales varían según se incremente el caudal de escorrentía a evacuar.

El diseño de las cunetas se hizo considerando un flujo uniforme, del cual se requiere la pendiente del canal, el área hidráulica el radio hidráulico y la rugosidad del canal, que de acuerdo al anexo6 (Tabla 13.1 Mott...Valores *n* de Manning), para concreto se tiene un factor *n*= 0.017.

La ecuación del flujo uniforme es la siguiente:

Ecuación de Manning en unidades del SI para flujos uniformes

$$Q = \left(\frac{1.00}{n}\right) A * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (10)$$

Donde:

A partir del Método Racional se determinó un caudal de escorrentía que se debe evacuar, y a partir de Manning se determinó la capacidad de un canal para una sección dada con una pendiente determinada. De esta forma, se establece una comparación en la cual la capacidad del canal debe ser mayor al requerimiento del caudal de escorrentía.

Se manejó un par de secciones del canal de acuerdo con las necesidades, en función de la cantidad de caudal que se requería evacuar, ya que existe un aumento considerable en la capacidad del canal conforme varia su sección, pero la complejidad constructiva hace que se considere la utilización de las secciones en "V" o bien las secciones en "U". Para este caso son las dos opciones que se manejan.

Diseño de pasos de agua

Capacidad estructural

La capacidad de soporte y manejo de caudal de la estructura de tubería se determinó para una sección típica de paso de aguas con condiciones establecidas.

Estimación de Cargas

Cargas muertas

Φ externo= 90.4cm

$Y = 2100\text{kg/cm}^2$

El peso muerto se estima con la siguiente ecuación:

Ecuación para la estimación del peso muerto

$$W_c = Cd * Y * Bd * D \quad (11)$$

Donde:

$W_c =$ Peso del material de relleno.

$Cd =$ Coeficiente de carga.

$$Cd = \frac{1 - e^{-2k\mu(H_R/B_D)}}{2 * K * \mu} \quad (12)$$

Donde:

$B_D =$ ancho de la excavación (m)

$D =$ Diámetro externo del tubo (m)

$H_R =$ Altura relleno sobre la corona (m)

$k =$ Coeficiente activo de Rankine

$\mu =$ Coeficiente de fricción.

De las tablas de coeficiente de Rankine y los coeficientes de fricción para arcillas compactadas del anexo11, se obtuvieron los valores:

$k = 0.33$

$\mu = 0.40$

Además se tiene que la relación $H_R/B_D = 0.66$.

Obteniéndose un valor $Cd = 0.61$.

Por consiguiente se obtuvo que el peso muerto que soportará la tubería es $W_c = 1820\text{kg/m}$.

Carga Viva

El método que se utilizó para la determinación de la carga viva es el propuesto por la AASHTO, el cual se desarrolla a continuación.

Presión de inflado de los Vehículos:

$P = 120\text{lb}$. Lo que se iguala a 8.5kg/cm^2

La altura del relleno sobre la corona del tubo.

$H_R = 1\text{m}$

Vehículo de diseño HS-20 con 14500kg.

Cuadro de presiones

$$B = (P/P_T)^{0.5} \quad (12)$$

$$L = (B/2)^{0.5} \quad (13)$$

Donde:

De las ecuaciones anteriores se tiene:

$B = 0.42$

$L = 0.30$

Ahora bien, la ecuación reducida del Método Boussinesq propuesta por la AASHTO, para una profundidad h , es la siguiente:

Ecuación reducida del Método Boussinesq.

$$P_o = \frac{(1+I_f)*P/2}{[(b+1.2h)*(1+1.2h)]} \quad (14)$$

Donde:

$P_o =$ carga viva de la profundidad h .

$I_f =$ Factor de impacto que magnifica el valor nominal de la presión en proporción inversa con la profundidad. Se obtiene de la tabla adjunta en el anexo11. Para 1m de profundidad es igual a 1.15.

De esta manera se tiene una carga por llanta de a la corona de 6114.61kg/m^2 .

Sin embargo, debido a que los bulbos depresión de las llantas se traslapan conforme se profundiza, se debe aplicar un factor FC por la carga AASHTO obtenida para contemplar este efecto.

En el anexo11 se indica que para una profundidad de 1m se debe aumentar un 32.26%, para un vehículo de dos ejes separados 1.22m obteniéndose un valor de presión debido a carga viva:

$P_v = 8483.96\text{kg/m}^2$.

En fin, se tiene que la cantidad de carga debe soportar la tubería debido al efecto de las cargas vivas y las cargas muertas es de 10304kg/m^2 .

Capacidad Hidráulica

Radio hidráulico: con ayuda del cuadro presentado en el anexo 6, área, perímetro

mojado y radio hidráulico en conductos circulares parcialmente llenos, se determinaron los valores.

Se propuso una relación $y/D= 0.70$.

El diámetro del ducto es conocido e igual a 0.90m.

Con base en estos datos se realizaron los siguientes cálculos:

$$A/D^2= 0.5872$$

Lo que implica un área hidráulica

$$A= 0.4756\text{m}^2.$$

$p/D= 2.0944$; perímetro mojado (p)= 1.7841m.

$R/D= 0.2962$; radio hidráulico (R)= 0.2666m.

La pendiente media del ducto es de 1%, por lo que aplicando la ecuación de Manning se tiene:

$$Q = \left(\frac{1.49}{n}\right) A * R^{2/3} * S^{1/2} \quad (15)$$

Donde:

A es el área hidráulica

R es el radio hidráulico

S es la pendiente del canal

Según la tabla del anexo 6, para material PVC se indica un valor de $n= 0.01$.

Con las condiciones anteriores se tiene que la capacidad del caudal del ducto es de $Q=0.56\text{m}^3/\text{s}$.

Diseño de escombrera

Para el manejo de los escombros ya se tiene ubicado el terreno posible para este fin.

Se procedió a hacer un levantamiento topográfico del sitio para determinar el volumen del material que se puede colocar. Además se hizo un diseño de las caras de los taludes que se requieren, con el objetivo de evitar la erosión y la falla.

Presupuesto, programación y control de costos

Con las especificaciones obtenidas y de las propuestas sugeridas, se procedió a realizar un presupuesto detallado del proyecto, con la finalidad de generar un costo global y un costo por actividad y sus respectivos costos directos; de esta manera generar datos que ayuden en la ejecución del proyecto con el control de costos de las actividades. Para la realización del presupuesto detallado, se hizo uso de la lista de proveedores y de contratistas de la empresa, para establecer los costos de alquiler, compra de materiales y la mano de obra requerida en el proyecto.

Por otra parte, en esta etapa se realizó la programación detallada de cada una de las actividades, identificando para esto, las rutas

críticas y considerando todos los recursos disponibles para la realización de este proyecto mediante el uso del programa Project 2007.

Asimismo se propuso un programa de supervisión y control de calidad de las obras de acuerdo con las especificaciones solicitadas en el diseño para garantizar que la inversión realizada cumplirá con los objetivos determinados para el mismo.

Además, se procedió a realizar la curva de control de avance para el desarrollo del proyecto utilizando el criterio experto obtenido en otros proyectos similares del I.C.E. cuya información fue facilitada gracias a visitas técnicas programadas, esto con el fin de asignar los pesos de las actividades por horas hombre con el fin de generar una curva parámetro para mantener un control del avances.

Para reflejar el comportamiento de los costos, también se construyó la curva de costos del proyecto, la cual muestra la acumulación de recursos conforme avanza el proyecto, para esto, se hizo una distribución lineal de los recursos como mano de obra, maquinaria, materiales, en cada una de las actividades que requerían de ellos, para así distribuirlos en el período de realización de las actividades marcadas en el Project, de esta manera se generaron los costos acumulados del proyecto por período bisemanal.

Resultados

Alineamiento topográfico

El alineamiento se ve afectado por las condiciones topográficas que se dan en el sitio.

Se tienen problemas de altas pendientes en ciertos tramos, lo que obliga a adecuarse al entorno del sitio. Como se puede observar en el apéndice 1 en la lámina 1, perfil del camino, es necesario plantear secciones de altos cortes, así como secciones de rellenos relativamente grandes, ya que como se muestra en el apéndice anterior indicado, la pendiente promedio subrasante natural es de 22% con tramos en los que la pendiente alcanza valores de hasta 24%. A partir de estos datos y sabiendo que la maquinaria que transitara por este camino requiere de condiciones de pendiente media se propone, utilizando material de corte del camino, hacer la modificación a la subrasante que se presenta en el apéndice 1, determinándose que el volumen total de corte es de 5232.65m^3 y que el volumen total de relleno es de 3545.42m^3 .

El apéndice 1 en la lámina 7, muestra que a partir de la estación 0+125, se tiene un relleno considerable en el camino, que implica una adecuada estabilización, para lo que se propone la construcción de un relleno estabilizado con geotextil. Se propone esta solución, ya que, para las condiciones del camino, es un procedimiento relativamente acorde con los equipos, materiales y mano de obra que se utilizan en este tipo de muros.

A continuación, se muestran los datos considerados en el diseño de los muros de geotextil.

Como se puede observar en la lámina 9 del apéndice 6 la altura del relleno más alto es de 3.2m sobre el nivel del terreno natural, por lo que se procedió a la estabilización de esta sección, ya que es la más crítica.

En el anexo 9 se adjuntan las propiedades de lastre. El peso específico del material ronda los 2.2 ton/m^3 , se consideró una

fricción interna de 30° y una cohesión de 0, según la carta de plasticidad que se muestra en el anexo 9.

Las dimensiones del muro son 3.2m de altura, y se consideró una base de 5.4m. la inclinación de la cara del muro β , se consideró de 70° con respecto a la horizontal y la inclinación del material sobre la corona del muro α de 0° ya que corresponderá a la calzada del camino.

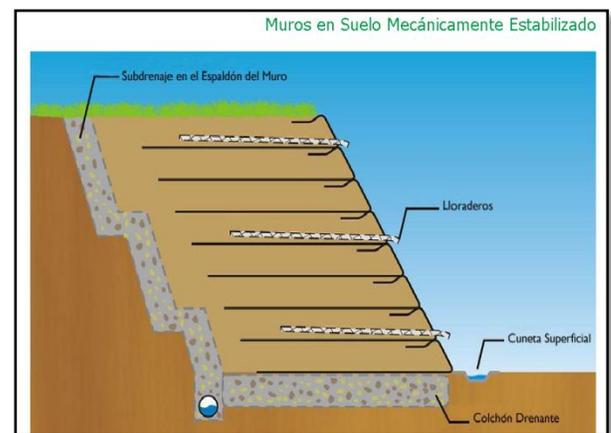


Figura 2. Detalles geométricos del muro estabilizado con geotextiles. Fuente: manual de diseño con geosintéticos de PAVCO.

Debido a que las condiciones de uso del relleno, conlleva a soportar cargas vivas producidas por los camiones, se requiere hacer una estimación del efecto de estas cargas según se muestra en los siguientes diagramas.

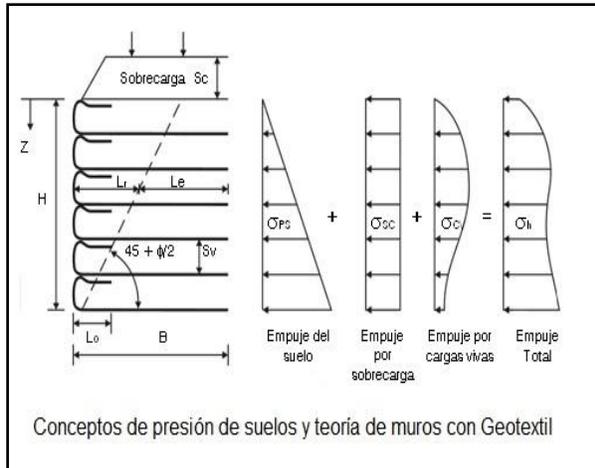


Figura 3. Diagramas de cargas que actúan en el frente de la cara del muro geotextil. Fuente: manual de diseño con geosintéticos de PAVCO.

Se presentan en el cuadro 1 los valores propuestos y los resultados obtenidos, de manera que se ajusten a la topografía existente en el sitio.

Alineamiento horizontal

Siguiendo con el alineamiento topográfico, el apéndice 7 contiene el detalle de las curvas propuestas al Departamento de Topografía, que en resumen se determinaron con las siguientes formulas presentadas en el

Es así como se obtiene, según lo sugerido, por el Departamento de Topografía, en nivel de rasante óptimo para el desempeño de la maquinaria, obteniéndose de esta manera las secciones que requieren de cortes y de rellenos, y estableciendo las pendientes del camino, en las diferentes secciones. El detalle del alineamiento vertical se encuentra en el apéndice 5 donde se puede observar que la pendiente máxima obtenida es de 19.60%.

Cabe señalar que se propone un ancho de calzada de 6m a lo largo del camino, no obstante, debido a las condiciones de la topografía del sitio, especialmente en los primeros 200m de camino, se debe optar por ajustar este ancho de carril a las condiciones de la trocha existente, ya que en estos tramos existen taludes de gran inclinación, los cuales se sugiere no intervenir hasta no tener información del departamento de geotecnia, que sugiera cortes e inclinaciones máximas en los taludes, así como una mejor propuesta de estabilización.

Cuadro 1. ALINEAMIENTO HORIZONTAL DE LAS CURVAS				
Curva	Delta (°)	Radio (m)	Tangente (m)	Longitud de curva (m)
C1	24°56'30,93"	13.41	2.97	5.84
C2	19°26'24.64"	11.80	2.02	4.01
C3	154°39'57.63"	1.70	7.38	4.48
C4	18°44'45.50"	12.23	2.02	4.00
C5	13°29'1.05"	17.32	2.05	4.08
C6	28°5'35.76"	24.08	6.02	11.81
C7	22°48'44.78"	28.35	5.72	11.29
C8	22°56'29.53"	10.01	2.03	4.01
C9	162°56'7.89"	2.34	15.62	6.67
C10	28°10'17.70"	20.63	5.18	10.14
C11	123°3'3.95"	8.06	14.87	17.32
C12	51°44'0.91"	12.86	6.24	11.62
C13	34°33'0.60"	46.92	14.59	28.29
C14	29°34'39,59"	25.16	6.64	12.99
C15	59°8'5.78"	17.33	9.83	17.88
C16	41°18'22.94"	20.63	7.78	14.87
C17	88°0'38.00"	12.60	12.17	19.35
C 17 a	41°43'8.47"	23.83	9.08	17.35
C18	36°1'42.97"	25.00	8.13	15.72
C19	58°50'42.10"	17.91	10.10	18.39
C20	43°27'30.44"	15.32	6.11	11.62
C21	36°43'17.51"	29.65	9.84	19.01
C22	54°57'54.90"	35.99	18.72	34.53
C23	73°28'20.42"	38.22	28.52	49.01
C24	51°34'58.41"	28.70	13.87	25.84
C25	67°57'11.86"	44.20	29.79	52.42
C26	62°23'37.67"	27.69	16.77	30.15
C27	27°33'58.21"	28.69	7.04	13.80
C28	32°7'6.67"	33.95	9.77	19.03
C29	33°13'59.32"	30.21	9.02	17.52
C30	42°5'46.91"	30.18	11.61	11.61

Diseño de la superficie de ruedo

Condiciones de tráfico

Para determinar los espesores de las capas de la estructura de rodadura del camino, se debe estimar la cantidad de ejes equivalentes posibles que actuarán sobre el camino. Para esto, se considera el acarreo de material que conlleva la construcción de un pozo de acceso al túnel existente, la construcción del túnel bypass, y la construcción de una nueva toma de agua, basados en los planos de la toma existente actual que se muestran en el anexo 1.



Figura 4. Pozo de acceso a los frentes de túnel en proyecto Balsa Inferior. San Ramón de Alajuela.

La figura 4 muestra la construcción de un pozo con las dimensiones similares a las que se requerirán en la toma de aguas de Río Macho, por lo que se utilizara como referencia para la estimación del un volumen a excavar y acarrear.

La ubicación de dicho pozo se encuentra a 1646msnm, mientras que, según el anexo1 el nivel de la corona del túnel esta a aproximadamente a 1566msnm. El diámetro del pozo debe ser aproximadamente de 15m.

Por otra parte, se estima una sección de aproximadamente 4m de diámetro en el túnel que

servirá de bypass durante la reconstrucción del túnel actual.

La longitud de dicho túnel ronda los 120m, por lo que se estima el volumen del material de acarreo relacionado.



Figura 5. Frente de túnel en construcción en proyecto Balsa Inferior de la CNFL, similar al requerido en la toma de aguas para hacer bypass.

Con respecto a la construcción de la toma de aguas, la referencia con la que se cuenta es el anexo1, del cual se extrajeron volúmenes de excavación, considerando que se hará un trabajo similar al existente en la toma actual. Ver Figura6.



Figura 6. Ubicación posible del pozo, toma de agua actual, túnel existente y túnel por construir.

Cuadro2. VOLUMENES DE MATERIAL EXCAVADO QUE SE DEBE TRANSPORTAR POR EL CAMINO.		
Frente de trabajo	Volumen envarillado (m³)	Volumen hinchado (m³) 40% de abundamiento
Pozo	556,0	779,00
Túnel bypass	15.551,0	21.771,00
Toma nueva	2.112,0	2.957,00
TOTAL	18.219,0	25.507,00

Se supone un material de extracción con un peso específico de 2000kg/m³ suelto, para estimar un peso equivalente de acarreo.

Suponiendo que el transporte se hará en vagonetas de 12m³, tipo tándem, el total de acarreos que se deben prever es de 2.126 viajes cargados, para un peso por viaje de 35.300kg, y de 2126 viajes vacíos de 10.300kg por viaje (peso propio).

Además, se estimó que un 50% del subtotal de ejes anteriores corresponde al acarreo de materiales y equipos de construcción que se deben suministrar durante el proceso.

El factor común es de 1.5 para un C3, por lo que se estima que la siguiente cantidad de ejes equivalentes de 8.2ton.

Cuadro3. ESTIMACION DE EJES EQUIVALENTES DE 8200kg QUE SOPORTARÁ EL CAMINO					
	Número de viajes	Peso por viaje (kg)	Peso total (kg)	Factor camión (1,5)	Número de ejes equivalentes (8200kg)
Acarreo	2.126,00	35.300,00	75.047.800,00	112.571.700,00	13.728.256,10
Vacío	2.126,00	10.300,00	21.897.800,00	32.846.700,00	4.005.695,00
Más 50%	-	-	47.409.800,00	71.114.700,00	8.672,50
TOTAL			142229400,00	213344100,00	26017,60

Alcantarillas y Cabezales.

Las alcantarillas y cabezales se propusieron de concreto ciclópeo, ya que estas funcionarán como una estructura cuya capacidad de soporte estará dada por su propio peso, por lo que se propone según el CRM 2012 una dosificación de concreto tipo ciclópeo con una dosificación de 60% concreto con resistencia a la compresión de 175 kg/cm^2 y 40% bloques de rocas, de tamaño máximo 20 cm, con resistencia a la compresión a los 28 días de 280 kg/cm^2 ,

Las siguientes figuras muestran el detalle de las alcantarillas y de los cabezales propuestos para los pasos de agua. En el apéndice de planos adjunto, específicamente en la lámina 14, se indican las dimensiones propuestas para estas estructuras. Dicha información se obtiene del Virginia Department of Highways, y el cual es utilizado actualmente por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, además de la Oficina de diseño del Proyecto Modernización de tomas del Centro de Producción de Río Macho.

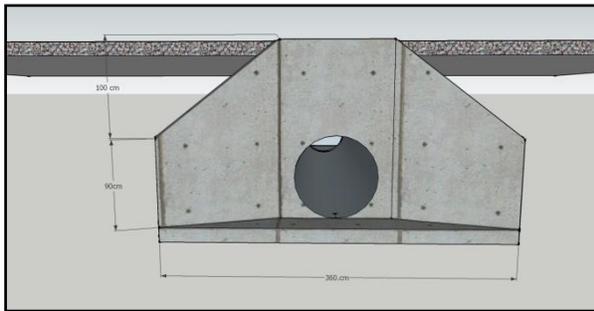


Figura7. Vista frontal de los cabezales de los delantales en las salidas propuestas para el camino.

La figura8 muestra un esquema global de la caja de alcantarilla, la cual tiene la función de control del caudal de entrada de la tubería.

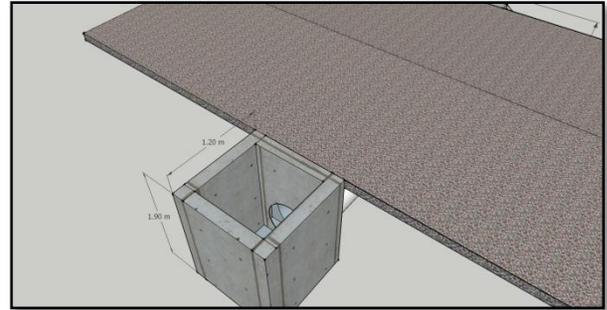


Figura8. Vista superior de caja de alcantarilla con cuneta.

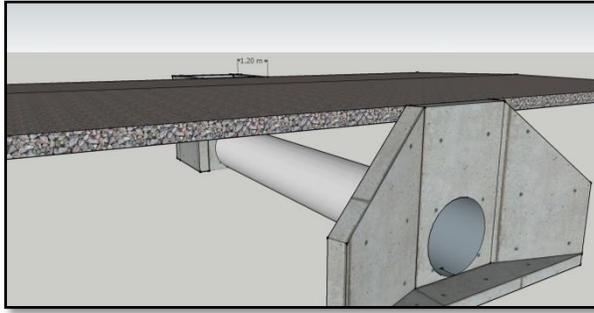


Figura 9. Detalle de paso de agua con estructuras de alcantarilla y cabezal de salida.

Como se muestra en la figura 9, los pasos de agua propuestos se conforman de la caja de la alcantarilla, la tubería tipo Ribloc, la cual tiene una pendiente de 1%; y un cabezal de salida con su respectivo delantal para evitar la socavación que se pueda generar por motivo de erosión del agua.

En el apéndice 1 se encuentra la lámina 13 y 14 que muestran los detalles de cotas con detalles constructivos de las cajas de alcantarillas y de los cabezales y cunetas propuestas.

Escombrera

Para el diseño de la escombrera se plantea la ubicación del sitio a 1.8km del inicio del camino, con aproximadamente 40 minutos de acarreo ida y vuelta.



Figura 10. Ubicación posible del sitio de escombrera.

Para la geometría de la escombrera, se plantea la construcción de bermas de relleno con una inclinación de 45° con respecto a la normal, las dimensiones se muestran en el apéndice 7.

Con ayuda del programa SLIDE 5.0 y utilizando el Método Bishop Simplificado para un material con peso específico de 1620kg/m³, y una cohesión que se determinó según la ficha presentada en el anexo 7, la cual para un material con un CBR de 1.7 se establece un Cu entre 0.49 y 0.98 kg/m². Haciendo una correlación de materiales y estimando por criterio experto un ángulo de fricción interna (ϕ) de 28°, se obtiene un factor de seguridad de 4.17 en condiciones estáticas y drenadas. En el apéndice 7 se muestra el modelo obtenido bajo las características indicadas y los factores de seguridad mínimos obtenidos.

Haciendo un estudio de estabilidad de la escombrera en condiciones de sismo, se aplicó un 10% del coeficiente sísmico horizontal del terreno en forma vertical, esto bajo un criterio propio y cuya intención es considerar algún efecto del sismo en esta dirección. Dicho coeficiente de obtuvo de lo establecido en el Código Sísmico de Costa Rica 2002, según lo indicado en su sección 11, capítulo 2: "Demanda Sísmica: Zonificación Sísmica y sitios de Cimentación". Se cataloga, según el Código Sísmico, como una zona III, con un sitio de cimentación tipo S4, por lo que se consideró de acuerdo con el Código un coeficiente dinámico de 0.36.

Con ayuda del programa SLIDE 5.0, se modelaron las condiciones de la escombrera con el coeficiente sísmico antes establecido, se obtuvo un factor de seguridad de 1.15, suficiente para garantizar la estabilidad ante la falla circular en condiciones sísmicas y no drenadas, considerándose estas las condiciones más severas de diseño. Este modelo se muestra en la figura 1 del apéndice 8.

Por otro lado, la figura 1 del apéndice 8 muestra la estabilidad del relleno en condición de falla plana con sismo, con un factor de seguridad de 3.15 en el plano de falla propuesto por el material de escombro con el material del sitio.

En el apéndice 7 lámina 1 se muestra la topografía óptima para la localización de la escombrera, con lo que se hizo una propuesta para los rellenos de material de escombro del

camino y obras que, se supone, se desarrollaran en el futuro. De esta manera el apéndice 7, lámina 2 muestra la propuesta en planta de los rellenos a realizarse con el material de desecho del camino y con la geometría que cumple previamente con las condiciones de estabilidad del talud, como se determino con el programa SLIDE 5.0. Se ubican las cunetas y tuberías necesarias.

La capacidad de dicha escombrera es de 12000m³ de material, el cual deberá llevar una protección en la cara del mismo con una especie de geomalla de para impedir el efecto de erosión, además de todas las estructuras de drenaje propuestas en el plano.

En el apéndice1, en la lámina 1/3; se muestra la propuesta detallada de la escombrera para este proyecto.

Programación

La programación de rehabilitación del camino se propone de la siguiente manera.

Se iniciará con una primera etapa del proyecto que corresponderá a la limpieza y descuaje de arboles, con el fin de que la superficies del camino tenga mayor posibilidad de secado con la ayuda de la entrada de sol y viento. Por otra parte, se planteara un manejo preliminar de aguas con el fin de evitar el efecto erosivo que actualmente se está dando en el camino, debido a la falta de canalización de las aguas de escorrentía que se han presentado por las lluvias.

Adicionalmente, la etapa de rehabilitación definitiva del camino se dividirá en siete secciones, en las cuales se plateará el ciclo de construcción siguiente:

La logística de trabajo comenzara con una primera etapa de eliminación de material vegetal, para lo cual se contara con un tractor tipo D5, el cual se encargará de hacer los cortes y movimiento necesarios de este material. Además, la utilización de una excavadora que se utilizara para ir conformando los taludes necesarios e ir cargando el material extraído conforme se avance en el frente de trabajo. Para el acarreo de este material se contara con 3 vagonetas de 12m³, tipo tándem de doble eje, que se encargarán de acarrear el material hasta el sitio de escombrera propuesto, localizado

aproximadamente 1.8km del sitio de inicio de la construcción.

Una vez completada la etapa de limpieza de material vegetal, se procederá con la conformación del camino. Primeramente con las actividades de corte y relleno, seguido de la actividad de colocación de los tubos de alcantarillado. Una vez realizadas las actividades anteriores, se procede a la construcción de la estructura de ruedo, la cual requiere de la colocación de la geomalla propuesta. Después de esto, la colocación de la capa base granular, que será llevada hasta el sitio de construcción por parte del proveedor, según lo establecido en el cartel de compra de laste. Seguidamente se compactará la base con una compactadora de rodillo de 10ton; se propone esta compactadora relativamente liviana para evitar ondulaciones en la capa de terreno natural que puedan complicar el proceso constructivo debido al peso y las condiciones de humedad que se pueda encontrar.

Las actividades de construcción de cabezales, alcantarillas y cunetas se iniciarán una vez concluida la etapa de colocación de tubos de alcantarilla propuesta; para esto se contará con una automezcladora la cual se encargará de dosificar el concreto requerido para estas estructuras y acarrearlo hasta donde se requiera.

Se considerarán grupos de trabajo de aproximadamente 4 personas, los cuales se dedicarán a la colocación de tubos, encofrados y armado de estructuras de concreto, del extendido de la geomalla y, además, de la construcción de los muros estabilizados con un geosintético, el cual es un proceso que no requiere de equipo mayor, simplemente de un mini cargador y un compactador tipo sapo de unos 500kg de operación manual.

Con respecto a la construcción de la escombrera, se tiene una fecha de inicio igual al inicio de las obras temporales, con el fin de preparar el sitio para recibir el material. Se requiere del uso de un tractor tipo CAT D-5 o similar, de manera que con el acomodo del material se vaya consolidando el relleno para garantizar su estabilidad.

Paralelamente a la construcción del relleno, se procederá a la colocación de drenajes necesarios para mantener la carga piezométrica en lo minino posible y así evitar la falla del relleno. Se colocará una membrana de geotextil con el fin de evitar la erosión de la cara del talud

y propiciar el crecimiento de materia vegetal que ayude con la estabilización del relleno.

Se recomienda iniciar la construcción de este proyecto en fechas donde las condiciones meteorológicas sean las apropiadas para sacar el mayor provecho de las jornadas laborales y en consecuencia, el mayor provecho a las maquinarias contratadas para la construcción del camino.

Se establece un plazo aproximado de tres meses para efectuar las contrataciones de equipos y maquinarias, así como de adjudicar a los proveedores la compra de los materiales propuestos en los diseños planteados.

Se determina a partir de la programación planteada, un periodo de ejecución del proyecto de aproximadamente 6 meses, con inicio en enero de 2012 y conclusión en junio del mismo año. Cabe destacar que en este periodo se concluyen todas las obras relacionadas con el camino, sin embargo, no significa que el camino

no será utilizable hasta concluido este plazo, más bien se considera que se puede habilitar una vez colocada la capa de material de base.

El Diagrama de Gantt del proyecto se presenta en el apéndice5.

Por otra parte, se presenta en el gráfico 2 la curva "S" de avance programado del proyecto, el cuál servirá para llevar un control con respecto al desarrollo de las actividades. Dicho avance se estimó basado en criterio experto, por horas hombre que requiere cada una de las actividades, en el apéndice7 se muestra la memoria de cálculo utilizada para el trazo de dicha curva. Además en este apéndice se muestra la EDT del proyecto, la cual muestra de mejor manera los objetivos o actividades establecidas como entregables del proyecto, con sus respectivas tareas.



Gráfico 2. Curva teórica de avance del proyecto.

Costos

Los costos asociados a la rehabilitación del camino de acceso a la toma de aguas de Río Macho, contemplan todos los materiales propuestos, mano de obra necesaria, y el alquiler de la maquinaria necesaria para cumplir con la programación propuesta.

En el apéndice 6 se muestra el presupuesto detallado de cada una de las actividades propuestas para la construcción de este camino.

Como se puede apreciar en ese desglose, los costos totales corresponden a $\text{¢}379.155.002,00$ millones de colones.

El costo del alquiler de equipos y la maquinaria corresponde a $\text{¢}197.800.780,00$ para

un 52.17% del costo total del proyecto, la mano de obra $\text{¢}36.684.164,00$ para un 9.68%, los materiales $\text{¢}131.248.508,00$ para un 34.62% de los costos, y por concepto de otros gastos como control de calidad, equipo de comunicación como inspectores etc se tiene un costo de 3.54%.

En el apéndice 6, la tabla de desglose del presupuesto, se muestra el resumen con los costos asociados a cada actividad y el porcentaje del presupuesto que cada uno representa.

Por otra parte, el gráfico 3, contiene la curva de costos del camino, la cual muestra el aumento de los costos conforme avanza el proyecto, desde el inicio de su ejecución, en el apéndice 9 se muestra en detalle los datos de esta curva.

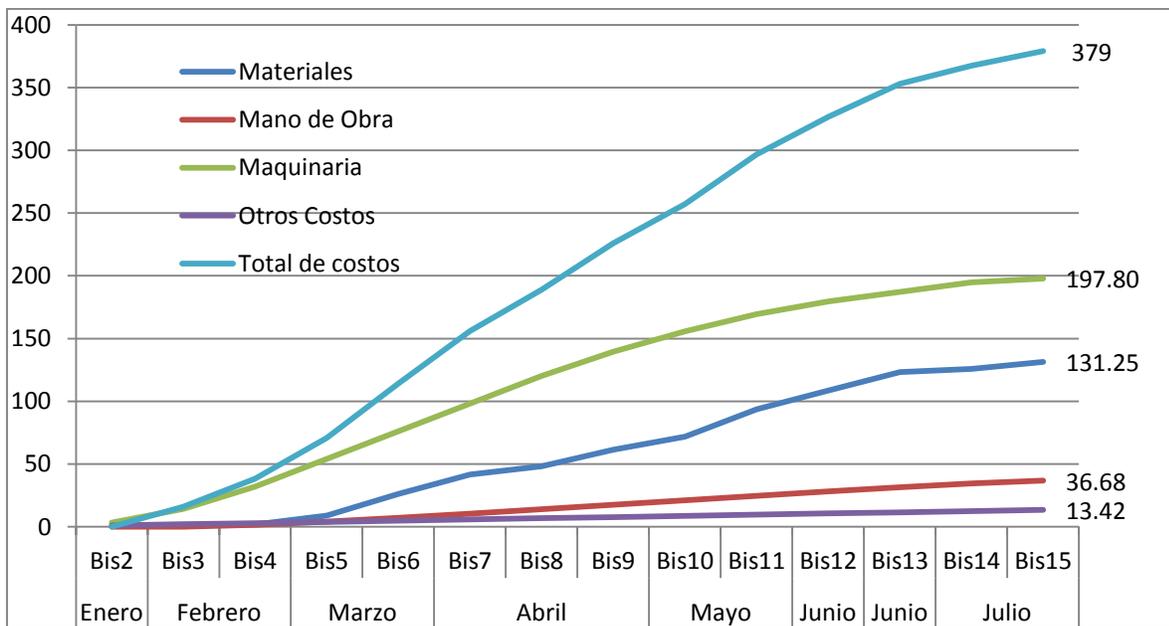


Gráfico 3. Curva Costos del proyecto.

Análisis de resultados

Según lo planeado para el desarrollo del proyecto, se tiene lo siguiente.

Se establece un trazo poligonal del camino que obedece a las condiciones topográficas del sitio, con curvas cerradas, pero diseñadas para el tránsito de los equipos y vehículos necesarios para la construcción de la toma de aguas requerida. El alineamiento vertical del camino requiere la implementación de rellenos y de cortes, de aproximadamente 3.545m^3 y 5232m^3 respectivamente.

En la sección inicial del camino desde la estación 0+000 hasta la sección 0+240 aproximadamente, se plantea un ancho de calzada variable de acuerdo con las posibilidades del terreno, ya que esta zona requiere de un estudio más detallado de mecánica de suelos de los taludes para poder proponer, ya sean cortes o bien métodos de estabilización específicos, con el fin de generar las áreas necesarias para poder maniobrar con equipos de carga pesada. Es por eso que se solicita al Departamento de Geotecnia del ICE realizar los estudios necesarios para generar la solución conjunta a los proyectos que se deben desarrollar.

Para el caso de los rellenos, en este documento se propuso el uso de geosintéticos para estabilizarlos sin la necesidad de aplicar técnicas como gaviones o bien muros de concreto armado, que requieren de una mayor logística, ya sea para el armado de las estructuras como la fabricación del concreto, debido a las condiciones del terreno por asuntos de espacio. Dicha propuesta estima el efecto de las cargas tanto de su propio peso como el efecto de las cargas dinámicas que se producen por el paso de los vehículos, obteniéndose, gracias al uso del programa de diseño PAVCO, espesores de material de 30cm con mallas de refuerzo de 50kN/m. Los datos obtenidos se revisan contra los valores de factores de seguridad mínimos establecidos en el Código de Cimentaciones de Costa Rica, garantizándose la estabilidad tanto

interna como externa del muro, así como la estabilidad al deslizamiento y al volcamiento.

La cimentación de estos muros requieren de un nivel de desplante de 1.20m, además de un chequeo de compactación de cada una de las capas, por lo que se propone el uso de pruebas de corte con veleta como una solución más económica, de manera que se pueda correlacionar el dato obtenido con las referencias de compactación una vez generado un parámetro con otro tipo de rellenos. Sin embargo, no se descartan chequeos de compactación empleando las técnicas de cono de arena o bien con densímetro nuclear, aprovechando que son equipos y técnicos con los que la empresa cuenta.

Ahora bien, con respecto a la etapa de diseño de la superficie de ruedo, se realizaron pruebas de laboratorio con el fin de conocer las condiciones estructurales del suelo presente en el camino. También se visitaron diferentes proyectos, como el de Casa de Maquinas del Proyecto Hidroeléctrico de Pirrís, para conocer las técnicas empleadas por el ICE en materia de caminos como la del concreto compactado con rodillo (RCC) en las carpetas, opción poco viable, ya que normalmente en el sitio se tiene presencia de agua debido a condiciones propias de bosque nuboso.

Por otro lado, la visita al Proyecto Hidroeléctrico de Balsa Inferior, ubicado en San Ramón de Alajuela, contribuyó a relacionarse con un camino construido con condiciones semejante, tanto en las estructuras que actualmente se construyen, similares a las requeridas en la toma de aguas de Monte Cristo en Rio Macho, como en el pozo de acceso y el túnel de desvío. Estos se utilizaron como referencia y es así como se determinaron las cargas a las que será sometido el camino al rehabilitar, basados prácticamente en los acarrees de materiales extraídos, y aplicando un porcentaje de esta cantidad como acarrees por concepto de equipos y materiales a

colocar, obteniéndose un aproximado de 27000 ejes equivalentes de 8200kg. Es así, como las pruebas de CBR practicadas anteriormente y basados en la metodología de diseño AASHTO 1993, se obtiene un número estructural de 4.47, considerando la utilización de un material de base con un CBR mínimo de un 60% y, en consecuencia, un espesor de base flexible de 21cm. Sin embargo, con el fin de aportar otra solución que requiera de menos colocación de material, menos acarreo y menos uso de maquinaria, se propone el uso de las geomallas, cuyo uso contribuye con un mejor valor del coeficiente estructural del camino, reduciendo la capa a un espesor de 13.61cm, de esta manera se propicia un ahorro por concepto de cantidad de material a colocar. Sin embargo, para efectos constructivos, se establece que el espesor del material a colocar será de 15cm, para hablar de un espesor manejable, constructivamente. El efecto del uso de estas geomallas tipificado por AASHTO en su anexo PP 46-01 del año 2001, en su versión más reciente R 50 09 en el año 2009.

En la propuesta de diseño de la superficie de ruedo se propone una estabilización del material con cemento, con el fin de evitar la migración de material debido al efecto de tracción de las llantas en las pendientes altas y proporcionar un mejor agarre de los vehículos, ya que las pendientes propuestas son relativamente altas para el acarreo de material y el paso de vehículos pesados. Se propone, entonces, una dosificación del 9% del peso de lastre en peso de cemento.

El factor drenaje es de alta importancia en la determinación del número estructural, según se mostró en la ecuación 8 y en apéndice 2, que está basado en el manual de AASHTO 1993.

Por otra parte, con respecto a las estructuras de drenaje propuestas como cunetas y pasos de agua, cabe señalar que la determinación de la intensidad de lluvia utilizada es completamente teórica y que es válido determinar una intensidad de lluvia local, ya que esta zona puede presentar variaciones debido a que se encuentra en la cuenca del río y la topografía quebrada del lugar propicia una mayor concentración de la nubosidad y así un aumento de las precipitaciones en el sitio. Además, la topografía determinada por herramientas computacionales no refleja fielmente la realidad del sitio, por lo que la concentración de caudales

de aguas de escorrentía puede tener variaciones considerables con respecto a los caudales teóricos determinados que se deban de evacuar.

Es importante la realización de pruebas de infiltración en el terreno, para concluir de mejor forma la cantidad de agua de escorrentía que fluye cerca de la cuenca. Con lo anterior se quiere aclarar que el Método Racional utilizado para la determinación del caudal de escorrentía se aplicó debido a las condiciones y facilidades con las que cuenta el proyecto además que la eficiencia del método cumple con las expectativas trazadas, sin embargo, debido a la magnitud del proyecto, la ubicación y las condiciones del lugar, las técnicas con las que se obtuvieron los resultados no son las más fieles del método, por lo que se quiere aclarar que si se busca un resultado más preciso se requiere de mayores estudios y de generar más datos hidrológicos así como topográficos y posiblemente aplicar un método más específico para el sitio. Claro está que estos nuevos estudios requieren de una mayor inversión de recursos y de tiempo, por lo que la importancia que este cálculo tenga para el proyecto será el que determine si se siguen o no los lineamientos antes propuestos. No obstante, sabiendo que se debe dar solución, se procedió a realizar el análisis por el Método Racional, obteniéndose los caudales de diseño con los cuales se procedió a determinar la geometría de la estructura de evacuación necesaria.

El diseño de las cunetas se realizó basado en un supuesto de caudal uniforme a lo largo del canal. Esta premisa debería de reconsiderarse, ya que tomando en cuenta las pendientes del camino, al cual irá paralelo dicho canal, la condición de flujo uniforme, para el cual se desarrolla la ecuación de Manning, no es la más real, pero, ante la necesidad de dar una solución, que pueda requerir de un análisis técnico más detallado, se aplicó dicho supuesto; siguiendo con la premisa establecida de flujo uniforme, se determinó la implementación de dos tipos de canal en "V" y otro en "U". Para este criterio se toma en cuenta la complejidad constructiva, así como la capacidad de manejo de agua que proporciona cada una de las secciones propuestas.

Referente a los pasos de agua, debido a la solicitud de emplear tubería existente en el lugar, se determinó que las tuberías a emplear, cumplen con lo necesario para garantizar la

evacuación pluvial, así como resistir las cargas debidas debidas al tránsito. Es importante que la compactación del relleno de la zanja para la tubería se haga de la forma más controlada posible, para evitar los asentamientos y deformaciones, además de evitar la socavación y mantener el confinamiento de la tubería. Se proponen, como parte de las estructuras de pasos de agua, la construcción de cajas de alcantarillas que funcionen como dispositivos de control del caudal a evacuar, además de la construcción de cabezales de salida para mantener un confinamiento de la tubería y evitar desprendimientos por avenidas máximas que se puedan presentar en el lugar.

Asimismo, siguiendo con las actividades relacionadas con la construcción del camino, se tiene que la escombrera es fundamental para el desarrollo del proyecto, ya que los acarrees del material que se requiere remover implican altos costos. Es por esto, que se propuso la utilización de un terreno ubicado en una servidumbre de paso de líneas de tensión, localizada aproximadamente a 1.8km del sitio del proyecto, para un tiempo estimado de viaje de vagonetas de 40 minutos ida y vuelta. No obstante, la utilización de dicho terreno como sitio de escombrera requiere de una propuesta previa para que se dé el aval por parte de las fincas afectadas por la servidumbre. Por esto se propone la construcción de terrazas y una compactación del material, aprovechando las características topográficas, obteniéndose un sitio de escombrera con capacidad para recibir 12.000m³.

Ahora bien, como parte de la fase preparatoria para la ejecución del proyecto de construcción del camino, se sugiere la realización de trabajos previos que corresponden a la canalización de las aguas que actualmente escurren en el camino, además del desrame de los arboles, con el fin de ir generando una superficie de trabajo en condiciones más secas.

Con respecto al plan de ejecución del proyecto, se hace hincapié en la necesidad de dar inicio con las obras en periodo de estación seca, y así sacar el mayor provecho de la jornada laboral, abonado a una mejor manipulación de los materiales debido a un mejor control de las humedades optimas que se requieren para los procesos de compactación, que son tan importantes en este proyecto.

Se estima un periodo de contrataciones y adjudicaciones, a partir del mes de setiembre, con el fin de concluir esta etapa en el primer trimestre del 2012.

Con relación al proceso de construcción del camino, los costos estimados se hacen en función de una programación de construcción que divide el total del camino en siete secciones que se irán construyendo conforme se va avanzando.

Se determino como ruta critica la remoción del material vegetal en las primeras 5 secciones, seguido de la colocación del de tubos de pasos de agua, por último, la colocación del material de pavimento. Sin embargo, para las secciones 6 y 7 se requiere de especial atención en la actividad de construcción de rellenos estabilizados con los geosintéticos, ya que estos son los que marcan el paso del avance del proyecto, desplegando la posibilidad de construir el resto de las estructuras asociadas.

Es importante destacar que el inicio de la preparación de la escombrera debe ir ligado con la fase preparatoria del proyecto, dado que es esta tarea la que abre la actividad de limpieza y desmonte del camino, ya que sin un lugar donde disponer estos desechos es imposible iniciar la construcción.

Se establece así un periodo de ejecución del proyecto de 4 meses, en el cual deben quedar concluidas todas las obras asociadas, cumpliendo con las expectativas del proyecto, generando de esta forma una estructura que cumple con requisitos funcionales, de calidad y económicos, que promuevan la factibilidad de este proyecto.

Los costos asociados al proyecto, que involucran todos los trabajos, se basaron en precios ICE cotizados por proveedores ICE y toman en cuenta las cargas asociadas. Se estima que la implementación del uso de refuerzos sintéticos en el camino genera un ahorro de aproximadamente un 35% en la actividad de colocación de lastre, lo que reduce el gasto en un poco más de seis millones de colones. Con respecto al tiempo, un ahorro que puede estimarse en 30 días laborales, reduciendo la presencia de topografía, inspectores, transportes, técnicos, entre otros.

De esta manera se presenta una propuesta de solución a la necesidad de generar un acceso a la Toma de Aguas de Monte Cristo, empleando técnicas constructivas que se practican en el país que, de la mano con las

nuevas tecnologías, reducen los tiempos de ejecución, los costos de construcción y ayudan a trabajar con mayor comodidad en sitios de difícil acceso para el ingreso de materiales y equipos.

Cabe destacar, que la propuesta anterior, se encuentra avalada dentro del marco de requisitos ambientales solicitados por la Regencia Ambiental del Centro de Producción de Rio Macho, con el fin de generar el menor impacto posible, promoviendo así un desarrollo sostenible de este proyecto.

Conclusiones

Basados en el análisis de resultados y los diseños planteados, se obtienen las siguientes conclusiones:

Se determinó la poligonal del camino a partir de la trocha existente.

Se plantearon los niveles de rasante de camino, de acuerdo con las exigencias que genera el proyecto, obteniéndose como pendiente máxima un 19.65% y un total de corte de 7325.71m³ sueltos, y un total de 3545.42m³ compactado.

Los trabajos previos a la construcción del camino, como el manejo temporal de las aguas y el desrame de arboles es fundamental para encontrar condiciones más favorables al inicio de la construcción, como evitar socavaciones debido al escurrimiento de agua en el camino, además de condiciones más secas que las actuales.

Se propone el uso de geosintéticos como reforzamiento de la estructura de base del camino permitiendo una reducción del espesor de la carpeta en más de 6cm, reduciendo de esta forma los costos y tiempo de ejecución de la construcción del camino.

El espesor de la base para un total de 27.000 ejes equivalentes debe ser de 15cm y compactado al 95% PM.

Se plantea la técnica de muros reforzados con geosintéticos para los rellenos que requiere el camino, considerándolos como una buena opción para las condiciones de espacio en el sitio.

Se determinó la necesidad de estabilizar el lastre de base con 9% de cemento en las zonas con pendiente mayor a 15%, con el fin de evitar la migración de material debido al efecto de tracción de los vehículos. Esto como una práctica aplicada en diferentes proyectos y en los cuales se han generado buenos resultados.

Se propuso dos diferentes secciones de cuneta para diferentes tramos del camino, que canalizan y dan manejo a las aguas de escorrentía.

Se estableció un plan de trabajo por secciones durante la construcción del camino, con inicio en el primer trimestre del año 2012 y con una duración aproximada de 6 meses, periodo en el cual se desarrollarán todas las actividades relacionadas con la rehabilitación del camino.

Se obtiene un costo por metro lineal de camino de \$329.700,00.

Se estableció la actividad de remoción de material vegetal, las actividades de muros de tierra armada y colocación de tuberías de pasos de agua como las actividades que conforman la ruta crítica del proyecto.

Se generó la curva de avance del proyecto que ayudará con el control del mismo en el momento de su ejecución para generar los informes de avance en del proyecto Además se entrega la Estructura Detallada de trabajo (E.D.T). que define la lista de entregable, para así tener una mayor claridad del programa de ejecución.

Se generó la curva de costo del proyecto la cual ayudará para estimar los costos en momentos específicos del proyecto.

Recomendaciones

Se recomienda realizar un estudio geotécnico de los primeros 200 m de camino, con el fin de hacer una propuesta de diseño, tanto de anchos de calzada como de estabilización de taludes, más precisos es esta zona, para garantizar la estabilidad del sitio.

Se recomienda que el periodo de ejecución de este proyecto se realice en la época seca, para así aprovechar de mejor manera la jornada laboral, además de tener un mejor control de humedades de los materiales a emplear y un mejor manejo de los movimientos de tierra.

Se recomienda tener un control estricto en la calidad de las compactaciones, tanto de las capas de lastre colocadas para el camino, como las capas de rellenos, debiendo obtenerse un 95% del próctor modificado, para garantizar un CBR mayor al 60% requerido por el diseño.

Se indica que este camino fue diseñado para la construcción de obras específicas como lo son la construcción de un pozo de acceso al túnel, por lo que se recomienda considerar los posibles y futuros usos que puedan dársele al mismo ya sea para otras labores de la misma institución así como el uso por terceros que en este caso aplica para los dueños de las fincas colindantes y tomar las consideraciones del caso.

Bibliografía

- Ven Te Chow et al 1994 HIDROLOGÍA
APLICADA. COLOMBIA. Editorial:
McGraw Hill.
- Mott 1996 MECÁNICA DE FLUIDOS
APLICADA. MÉXICO. Editorial
Prentice Hall.
- Máximo Villón Béjar. 2008. HIDRÁULICA DE
CANALES. COSTA RICA. Editorial:
Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Colegio de Ingenieros. 2002. CÓDIGO SÍSMICO
DE COSTA RICA. COSTA RICA.
Editorial: Editorial Tecnológica de Costa
Rica.
- Asociación Costarricense de GEOTECNIA.
2006. CÓDIGO DE CIMENTACIONES.
COSTA RICA. Editorial: Editorial
Tecnológica.
- Federal Highway Administration 1995
GEOSYNTHETICS DESIGN AND
CONSTRUCTION GUIDELINES,
PUBLICATION NO. HI - 95 038, 11995.
- Tensor International Corp. 2010. GEOGRID
PAVED APPLICATIONS DESIGN
METHOD SPECTRA PAVE4 V3 U.S. No
2:14 p.
- Máximo Villón Béjar. 2004. HIDROLOGÍA
COSTA RICA. Editorial:
Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- AAHSTO 1993 GUÍA PARA EL DISEÑO
DE PAVIMENTOS.

Apéndices

A continuación se detalla la lista de apéndices generados por este trabajo.

Se obtienen un total de 8 apéndices, los cuales se nombran en seguida:

Apéndice1: Planos generales del proyecto, detalle de alineamiento del camino, secciones del camino, detalle de escombrera, detalle de cunetas y alcantarillas y curva masa del camino (En documento adjunto).

Apéndice2: Hoja de cálculo del Número Estructural y Espesores de carpeta con refuerzo y sin refuerzo.

Apéndice3: Distribución de refuerzo de rellenos estabilizados con geosintéticos.

Apéndice4: Hoja de cálculo con propuesta de diseño de cunetas.

Apéndice5: Diagrama de Gantt con propuesta de programación del proyecto.

Apéndice6: Hoja de cálculo del Presupuesto detallado del camino y curva de costos detallados

Apéndice7: Hoja de Cálculo de Curva de Avance.

Apéndice8: Estabilidad de escombrera.

Apéndice 1

Planos detallados de camino y escombrera con su ubicación y detalles constructivos.

Apéndice 2

Hoja de cálculo del Número Estructural y
Espesores de carpeta con refuerzo y sin refuerzo.

Apéndice 3

Distribución de refuerzo de rellenos estabilizados con geosintéticos.

Apéndice 4

Hoja de cálculo con propuesta de diseño de cunetas.

Apéndice 5

Diagrama de Gantt con propuesta de programación del proyecto.

Apéndice 6

Hoja de cálculo del Presupuesto detallado del camino y curva de costos detallados.

Apéndice 7

Hoja de Cálculo de Curva de Avance.

Apéndice 8

Estabilidad de escombrera.

Anexos

A continuación se detalla la lista de anexos utilizados para el desarrollo del proyecto.

Se utilizaron un total de 12 anexos, los cuales se nombran en seguida:

Anexo1: Planos de toma actual Monte Cristo.

Anexo2: Datos de CBR del camino.

Anexo3: Tabla de PSI, valores típicos terminales de P_T .

Anexo4: Tabla de niveles de confianza sugeridos para diferentes tipos de carretera.

Anexo5: Tabla con valores de coeficiente de drenaje.

Anexo6: Tabla con valores n de Manning, Mott, Mecánica de Fluidos.

Anexo7: Ficha para la correlación de propiedades mecánicas del Suelo. Figura 3 del Yang Huang, del Folleto del curso de Estructuras de Pavimentos de la Escuela de Ingeniería en Construcción del I.T.C.R. 2010.

Anexo8: Parámetros de diseño de vías con refuerzos geosintéticos del manual de diseño con geosintéticos capítulo 6 de PAVCO.

Anexo9: Datos de laboratorio del lastre propuesto para uso de superficie de rueda.

Anexo10: Nomogramas para la determinación de caudales de escorrentía Fuente Curso de Carreteras I del la Escuela de Ingeniería en Construcción del I.T.C.R 2009.

Anexo11: Tablas de requerimientos de cemento para estabilización de diferentes tipos de suelos, del US Department of Transportation.

Anexo12: Análisis y diseño de tubería enterradas de Durman Esquive.

Anexo 1

Planos de toma actual Monte Cristo.

Anexo 2

Datos de CBR del camino.

Anexo 3

Tabla de PSI, valores típicos terminales de P_T .

Anexo 4

Tabla de niveles de confianza sugeridos para diferentes tipos de carretera.

Anexo 5

Tabla con valores de coeficiente de drenaje.

Anexo 6

Tabla con valores n de Manning, Mott, Mecánica de Fluidos.

Anexo 7

Ficha para la correlación de propiedades mecánicas del Suelo. Figura 3 del Yang Huang.

Anexo 8

Parámetros de diseño de vías con refuerzos geosintéticos del manual de diseño con geosintéticos capítulo 6 de PAVCO.

Anexo 9

Datos de laboratorio del lastre propuesto para uso de superficie de ruedo.

Anexo 10

Nomogramas para la determinación de caudales de escorrentía.

Anexo 11

Tablas de requerimientos de cemento para estabilización de diferentes tipos de suelos.

Anexo 12

Análisis y diseño de tubería enterradas de Durman Esquive.