

**PRACTICA PROFESIONAL
OBRAS DE ACTUALIZACION DE LA PRESA SANTA RITA
CANTRAL HIDROELÉCTRICA GUATAPE**

**POR
JUAN DAVID BOTERO AGUDELO**

**TRABAJO DIRIGIDO DE GRADO PRESENTADO
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO CIVIL**

**DIRECTOR
FRANCISCO NANCLARES**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MEDELLIN
FACULTAD NACIONAL DE MINAS**

2005

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
INTRODUCCION	1
1. LOCALIZACION	2
2. OBRAS CIVILES	2
3. PRESA AUXILIAR II	5
3.1 OBRAS REALIZADAS EN PRESA AUXILIAR II	7
3.1.1 Pozos de drenaje	8
3.1.2 Manto colector de infiltraciones	11
3.1.3 Filtros	12
3.1.4 Pedraplen o pata de roca	14
3.1.5 Llenos en zona de contrapeso y refuerzo	15
3.1.6 Instrumentación	18
3.1.7 Obras Adicionales	20
4. ZONA BAJA I	23
4.1 Excavación exterior en material común	24
4.2 Ejecución de filtros y colectores	25
4.3 Construcción de pedraplen o pata de roca	27
4.4 Lleno de refuerzo	28
4.5 Obras de descarga	29
4.6 Instrumentación	29
5. MATERIALES	30

5.1	Limo o material de lleno	30
5.2	Material de filtro	31
5.3	Material de filtro en cascajo procesado	32
5.4	Tubería	32
5.5	Geotextil	32
5.6	Concretos	33
5.7	Afirmado	34
6.	FACTORES EXTERNOS QUE INFLUYERON EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO	36
	PLANOS DEL PROYECTO	42
	CONCLUSIONES	43
	BIBLIOGRAFIA	44

LISTA DE TABLAS

		Pág.
Tabla 3.1	Caudales hallados en presa auxiliar II durante perforaciones	6
Tabla 5.1	Características de los materiales del préstamo 1	30
Tabla 5.2	Características de los materiales del préstamo 2	31
Tabla 5.3	Gradación del material de filtro	31
Tabla 5.4	Gradación del material de filtro en cascajo procesado	32
Tabla 5.5	Propiedades mecánicas de los geotextiles	33
Tabla 5.6	Propiedades hidráulicas de los geotextiles	33
Tabla 5.7	Granulometría para los afirmados	35
Tabla 6.1	Incrementos en las precipitaciones comparadas con las esperadas según promedios años anteriores	36
Tabla 6.2	Equipo ofertado por el contratista en la licitación	40
Tabla 6.3	Equipo puesto en la obra por el contratista en la obra	40

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
Figura 3.1	Proceso de excavación con grúa para pozos de drenaje	9
Figura 3.2	Colocación de tubos para la conformación de pozos de drenaje	10
Figura 3.3	Esquema de filtros	13
Figura 3.4	Esquema de filtros ubicados en la unión de los taludes	14
Figura 3.5	Pedraplen hecho en presa auxiliar II	15
Figura 3.6	Panorámica de los llenos en presa auxiliar II	16
Figura 3.7	Instalación de Piezómetros de alambre vibratorio	19
Figura 3.8	Diseño básico de cunetas	21
Figura 3.9	Diseño de colectores	22
Figura 4.	Condiciones del material excavado en zona baja I	24
Figura 4.2	Excavaciones en zona baja I	25
Figura 4.3	Filtros en zona baja I	26
Figura 4.4	Construcción de colectores en zonas demasiado pantanosas	27
Figura 4.5	Pedraplen de zona baja I	27
Figura 4.6	Maquinas extendiendo y compactando materiales en zona baja I	28
Figura 4.7	Zona baja I en proceso de engramado	29
Figura 6.1	Precipitaciones en las zonas del proyecto	36
Figura 6.2	Maquinas paradas por efectos del invierno	37
Figura 6.3	Volquetas enterradas	37
Figura 6.4	Comparación de la humedad optima del material y la hallada día a día en el laboratorio de la obra	38
Figura 6.5	Conformación de botaderos con material demasiado saturado	39
Figura 6.6	Calidad del material excavado en el préstamo 2	40

RESUMEN

Este informe contiene una descripción clara y concisa de los procedimientos y metodologías empleadas por el consorcio HEYMOCOL-GAMMA S.A. en las actividades realizadas durante la actualización y reforzamiento de la presa auxiliar II y zona baja I pertenecientes al proyecto hidroeléctrico Guatapé, además una breve descripción de los problemas ocurridos en la obra por diversos factores como la lluvia, estudios poco profundos y negligencia en la administración inicial de la obra, lo desencadenó un retraso en la entrega final del proyecto.

ABSTRACT

This report contains a clear and concise description of the procedures and methodologies used in HEYMOCOL-GAMMA S.A. in the activities during the updating and reform of the auxiliary II dam and zone fall I belonging to hydroelectric project Guatapé, also a short description of the problems happen in the building site for different as the rain little deep research and negligence of the first administration of the building site, it caused a delay in the final handing over of project.

INTRODUCCION

Las actividades desarrolladas específicamente durante el tiempo de la practica con el consorcio HEYMOCOL-GAMMA S.A. en la actualización de la Presa Santa Rita consistieron, en un comienzo de auxiliar de residencia en cada uno de los frentes controlando los procesos constructivos y de movimientos de tierras. Posteriormente en la parte administrativa en el control de costos y programación de actividades.

1. LOCALIZACION

La presa de Santa Rita, perteneciente al Proyecto Hidroeléctrico Guatapé, está ubicada en la vereda Santa Rita del municipio de Alejandría, distante aproximadamente 91 Km. de la ciudad de Medellín, hacia el Oriente Antioqueño. Ésta conforma el embalse del “Peñol” que embalsa el Río Negro y surte las aguas para generación en la central Guatapé.

2. OBRAS CIVILES.

Esta presa consiste en tres llenos de tierra contiguos con las siguientes características:

- Presa Principal: tiene una longitud en la corona de unos 360m y una altura máxima de 59,50m.
- Presa Auxiliar I: cuenta con una longitud en la corona de 200m y una altura de 32m, medida con respecto a la fundación en el eje de la presa.
- Presa Auxiliar II: posee una longitud de unos 240m en su corona y una altura de 47m, medida con respecto a la fundación en el eje de la presa.

La construcción se efectuó en dos etapas: en la primera (1967- 1970) se levantó la presa hasta los 30 m de altura, en tanto que durante la segunda etapa (1973 - 1976), se completó el terraplén hasta la altura total de 59,50 m.

Para conformar el embalse, cuya volumen total al nivel normal (1887 msnm) es de 1 236 millones de metros cúbicos, se debieron construir llenos (terraplenes) en 11 sitios ubicados en cercanías de la presa principal. Cinco de estos llenos (2,4,9,10 y 11) se emplazaron en zonas bajas para lograr el cerramiento del embalse, en tanto, que los seis restantes (1,3,5,6,7 y 8) se ubicaron a lo largo de divisiones delgadas, con el objeto de controlar infiltraciones de agua provenientes del embalse

Los estudios contratados inicialmente por las Empresas Públicas de Medellín, fueron realizados en tres etapas: una primera etapa consistió en un diagnóstico general, una segunda de diseño conceptual (no realizada) y una tercera de diseño definitivo de las obras prioritarias que debían realizarse de carácter urgente en la presa Santa Rita.

Estos estudios incluyeron las siguientes actividades: levantamientos topográficos, exploraciones del subsuelo, análisis de la instrumentación existente, investigaciones geotécnicas y de laboratorio, diseño detallado de las obras, elaboración de informes y planos, cálculo del presupuesto y redacción de las especificaciones, etc. De acuerdo con los resultados finales obtenidos, los trabajos a realizar son los siguientes:

➤ Presa auxiliar II: Se encontró que en esta parte de la Presa se estaban presentando infiltraciones importantes, lo que llevaría a una posible licuación durante la ocurrencia de un sismo excepcional y ciñéndose a las normas sísmicas internacionales se llegó a la conclusión de reforzar esta parte de la obra para lo cual se conformará un lleno de refuerzo y contrapeso , combinado con la construcción de una retícula de 18 pozos de drenaje conectados a un manto de drenaje que descarga al canal existente. Con esta solución se disminuye el potencial de licuación, mediante un gradiente hidráulico controlado.

➤ Zona baja 1: Zona mas delgada de todo el embalse por lo tanto, la mas débil, y durante la construcción del embalse ésta fue utilizada como uno de los botaderos de la obra, además se encontraron taludes muy erodable hacia la zona del embalse lo que estaba produciendo infiltraciones considerables en los taludes aguas abajo.

Para esta parte de la obra fue necesario llevar a acabo una gran excavación y posteriormente un lleno de refuerzo para darle la estabilidad que esta necesitaba, además en la parte inferior del lleno, se diseñó un pedraplen o pata de roca que sirviera de sostén al lleno, para el drenaje de la obra, se tiene prevista la construcción de un sistema de filtros, con una longitud aproximada de 1.000 m. localizados en todo el perímetro de la zona y los cuales se conectan con unos colectores y así evacuar la aguas producto de infiltraciones.

Los diseños iniciales presentados por la empresas para esta parte de la obra se quedaron un poco cortos e insuficientes, ya que durante los estudios preliminares no se dieron cuenta de la gravedad que representaba esta zona para la estabilidad de la obra, aquí aumentaron sustancialmente las excavaciones con respecto a lo que se considero en el proceso de licitación, aumentando por ende el lleno que debió realizarse, en cuanto al sistema de drenaje éstos se fueron realizando a medida que el contratista en conjunto

con la interventoría así lo vieran necesario por la aparición de aguas producto de infiltraciones.

➤ Zona baja 2. Se presentaron deficiencias en cuanto al borde libre necesario para control de crecientes. Para esta obra se planteó la construcción de un muro parapeto a la cota 1891.5 msnm, (cota de la presa) adyacente a la vía que conduce a la Presa Santa Rita.

3. PRESA AUXILIAR II

El estudio realizado para esta zona del proyecto fue ejecutado con un taladro rotatorio tipo longyear 38. Las profundidades de perforación variaron entre los 19 y 60.7 m; las perforaciones se fueron efectuando cada 1.50m, de ensayos de penetración estándar y recuperación de muestras inalteradas en tubos de pared delgada tipo “shelby” de diámetros variables de 2”, 2.5”, y 3” de acuerdo con la rigidez de los materiales. Además se realizaron de permeabilidad de campo, tipo lefranc de cabeza variable aproximadamente cada 5.0m en las perforaciones que así lo permitieron y pruebas geofísicas tipo “down-hole”, en tuberías de PVC de 2”, en todos los sondeos.

Condiciones del Terreno en la Presa Auxiliar II

Durante la perforación ejecutada se detecto la presencia de un manto arenoso homogéneo con conductividad hidráulica importante en la cota 1865 esto se dio durante la construcción de la segunda etapa de la presa la cual fue colocada para poder ingresar la maquinaria.

También se detectaron la presencia de un segundo estrato éste más profundo que el anterior, entre las cotas 1852.5 y 1853, esto debido a que en este sector no se realizó limpieza de los causes existentes durante la primera etapa de construcción.

Cuando se alcanzó la fundación de esta Presa se encontró un deposito aluvial compuesto por lentes areno arcillosos de color gris con presencia de materia orgánica esto se asocio a la existencia de un caño por la cual circulaba una corriente de agua esto demuestra que no se hizo una adecuada limpieza antes de comenzar el lleno en la etapa inicial de construcción.

Durante la realización de algunas perforaciones se presentaron problemas de flujo ascendente de agua freática con niveles que alcanzaron los 4.8m por encima del nivel del terreno aprox. la cota 1880.4. los problemas se presentaron inmediatamente se llegó a la cota 1865 cota donde se encontraba el manto arenoso lo que implicaba un flujo de agua por esta zona.

Durante los sondeos se hicieron aforos de los caudales que ascendían por las tuberías de perforación los resultados variaron según las profundidades de perforación, estos se presentan en la tabla 3.1

TABLA 3.1 Caudales hallados en Presa auxiliar II durante perforaciones.

PERFORACION	PROFUNDIDAD	CAUDAL (lt/min.)
1	9,45	1,46
	12,00	0,13
	25,20	7,06
	41,95	16,36
	50,00	25,71
2	11,25	11,43
	23,40	8,47
	41,30	16,00
	46,20	7,27
	50,25	28,80
	53,25	2,50
3	18,00	21,43
	22,15	2,44
	32,58	4,00
	41,70	11,43

Se observan unos caudales altos y dan una idea del alto grado de conductividad hidráulica y eso solo fue en tres perforaciones.

En los ensayos geofísicos tipo down-hole los resultados variaron bastante en las diferentes zonas donde se registraron velocidades de onda entre 100 m/s – 250m/s; los resultados de los ensayos ratifican que en la plazoleta de la presa los materiales más blandos y con menos rugosidad en el control de los procesos de compactación.

Se encontraron unas permeabilidades muy altas y la posición del nivel freático en algunas perforaciones, permitieron inferir en un represamiento de las aguas infiltradas. Todos los ensayos realizados sobre la zona de la Presa Auxiliar II, permitieron identificar las zonas mas débiles de ésta; se llegó a la conclusión de que la plazoleta de la Presa corresponde a la zona con valores mas bajos de rigidez de la Presa Santa Rita asociados a condiciones menos rigurosas de compactación durante la primera etapa de construcción de la represa.

Por lo anterior, el alcance de las obras en la Presa Auxiliar II comprenden: Un lleno de refuerzo y contrapeso combinado con la construcción de una retícula de 18 pozos de drenaje de 1.3 de diámetro conectados a un manto de drenaje que descarga al canal existente, por medio de un colector y un medidor de infiltraciones . Además se construyó un sistema de filtros conectados a 2 medidores de infiltraciones, los cuales también descargan en el canal, de esta manera, tener control sobre las infiltraciones en la Presa Auxiliar II.

3.1 OBRAS REALIZADAS EN PRESA AUXILIAR II.

Las intervenciones realizadas en esta estructura tuvieron como finalidad garantizar su estabilidad durante la ocurrencia de un sismo, ya que en estudios realizados previamente se llegó a la conclusión de que en esta zona se estaban presentando problemas graves de estabilidad producto de las grandes infiltraciones, y mejorar la estabilidad de la Presa en el estribo izquierdo, donde tiene un espesor muy delgado y presenta una alta vulnerabilidad. Los diseños dados por las Empresa Publicas de Medellín contemplaban lo siguiente:

- a) Pozos de drenaje donde su función principal es la de recoger aguas producto de nivel freático y llevarlas hasta el manto drenante.
- b) Manto drenante, éste se conecta con los pozos de drenaje, recoge las aguas producto de nivel freático que ascienden por los pozos y la descarga en un colector, ubicado en la parte occidental de la Presa. Este colector se conecta con un canal de descarga no sin antes pasar por un medidor de infiltraciones.
- c) Sistema de filtros: estos están ubicados perimetralmente por toda la Presa, recogen las aguas que provienen del manto, al cual éstos se conectan Éste esta ubicado sobre los costados sur y oriental de la Presa y es de material de filtro en casajo procesado..

d) Lleno de contrapeso: Se realiza sobre la plazoleta central de la Presa, es de una altura aproximada de 8m, donde su función principal es la de servir de contrapeso en esta zona y así bajar el nivel freático.

e) Pedraplen: Esta obra no se encontraba dentro de los diseños dados al contratista por EEPP salió dentro del avance de la obra. La función del pedraplen o pata de roca es que sirva para sostener todo el lleno de contrapeso.

f) Llenos de refuerzo: Estos están ubicados sobre los costados sur y oriental de la Presa, su función es reforzar ésta, ya que presenta una alta vulnerabilidad debido a un espesor insuficiente.

g) Instrumentación: Esta actividad consistió en la instalación de piezómetros, medidores de infiltración, inclinómetros y puntos de control superficial. La finalidad de la instrumentación instalada en la obra fue la de monitorear continuamente los comportamientos de la Presa en cuanto a nivel freático, caudales debido a infiltraciones y posibles desplazamientos que ésta pueda presentar durante su vida útil.

h) Obras adicionales: Estas obras adicionales corresponden a estructuras realizadas en la Presa, las cuales sirven de apoyo a las obras principales para controlar y evacuar la aguas producto de lluvias como cunetas y aguas recibidas de los filtros como colectores y canales, actividades de gran importancia para la obra, pero no influyeron en la ruta crítica del proyecto, por ser estructuras que se desarrollaron al final de la obra y de poco grado de dificultad.

3.1.1 Pozos de drenaje.

Para llevar a cabo la realización de los pozos de drenaje se llevaron a cabo los siguientes procedimientos:

1. Excavación: las excavaciones para los pozos de drenaje fueron realizadas por la empresa contratista Precomprimidos, la cual se encargó de la excavación y

conformación de éstos. La excavación de los pozos se realizó con el siguiente equipo:

- a) Grúa hidráulica sobre orugas
- b) Entubadota para pilotes pre-excavados
- c) Planta hidráulica
- d) Almeja

Antes de comenzar la excavación, los pozos deben de estar previamente localizados por la comisión de topografía, posteriormente se procederá con la excavación utilizando la almeja; al tiempo que se va excavando se van recubriendo las paredes con camisas metálicas y así hasta alcanzar la profundidad de los pozos de drenaje. Para este caso este método de excavación era el más adecuado, ya que permite la excavación sin el uso de bombeo para el agua freática, ni bentonita para sostener las paredes sin derrumbes; otra ventaja de este sistema es el rendimiento que puede ofrecer. En la figura 3.1 se observa el proceso de excavación para la instalación de los pozos.



Figura 3.1 Proceso de excavación con Grúa para pozos de drenaje

2. Instalación del sello de fondo con material de filtro: éste se conformará con material de filtro utilizando el método tremi¹, para evitar segregación del material, donde el material de filtro es cascajo y arena revueltos.

3. Instalación del tubo perforado con un diámetro de 0.5m y vaciado del material drenante: la tubería para la conformación de los pozos tiene las siguientes características; estos tubos son de fibra de vidrio reforzado (GRP) de 50cm de diámetro interior. Estos comercialmente vienen de 12m por lo cual estos se deben unir con unas uniones tipo arañas las cuales fueron fabricadas de acero de $\frac{1}{2}$ y previamente aceptados por la interventoría de la obra. En la figura 3.2 se observa la colocación de un tubo para los pozos de drenaje.



Figura 3.2 Colocación de tubo para la conformación de pozos de drenaje.

4. Vaciado del material filtrante: Este se debe realizar con el método tremí para evitar segregación. Durante el proceso de llenado se deberá mantener un sobreelevación del revestimiento de mínimo 0.65m.

5. Conformación final del pozo: Después de terminado el pozo se retira el revestimiento metálico.

Terminados los pozos de drenaje, los cuales quedan con una longitud de 24m se dejan libres hasta realizar la actividad del manto drenante que es donde estos se van a unir, de tal forma que pueda sacar el agua que sube por éstos.

Durante la ejecución de esta actividad no se presentaron problemas graves que afectaran el curso normal de la obra, los percances que se registraron en la ejecución de esta actividad, se debió mejor a un pequeño desorden dentro del proyecto estas se citan a continuación:

a) Al realizar las excavaciones con la almeja el material producto de esta se hacia a un lado, mezclándose con el material puesto. El material producto de la excavación salía demasiado saturado, debido al nivel freático tan alto y con ésto se prestaba para contaminar los diferente materiales.

b) La tubería utilizada para la conformación de los pozos comercialmente tienen una longitud de 12m, por lo que fue necesario hacer uniones de dos tubos para alcanzar la profundidad de los pozos. En algunos casos se hicieron hasta tres uniones, ya que en el transporte se averiaron algunos tubos y éstos tienen un alto costo para perderlos en su totalidad.

3.1.2 Manto Colector de Infiltraciones.

Este esta ubicado sobre la plazoleta central de la presa auxiliar, tiene unas dimensiones de 42m x 100m Aquí se conectan los 18 pozos de drenaje para la descarga. El manto es un sandwich que consta de dos capas exteriores de material de filtro con un espesor de 0.30m cada una y en el centro un material drenante con un espesor de 0.40m. es en éste donde se conectan los pozos.

Durante la realización de esta obra, fue donde más percances se tuvieron, además de que de esta actividad dependían muchas otras y llevó a un atraso importante de la obra.

El desarrollo de esta actividad no tenía ninguna complicación de tipo técnico, ya que simplemente consistía en extender unos materiales, eso si siguiendo unos parámetros para no ensuciar los materiales ya que según las normas técnicas éstos tienen una granulometría establecida (ver Cáp. Materiales Mat. De filtro y Mat. Drenante).

Problemas que ocurrieron durante la construcción del manto:

- a) El primer problema y con graves consecuencia fue por error topográfico., ya que la comisión topográfica del contratista tuvo un desfase de casi 1m con respecto al eje del lleno, este error fue conocido por el director del proyecto el cual hizo caso omiso y continuó con la construcción de éste. Lo que significo que la interventoría hiciera levantar las 2 primeras capas de este manto, significando así en una gran pérdida en dinero y en tiempo para el contratista.
- b) La compra de material de filtro y material drenante de mala calidad. Se entiende por mala calidad un material desasido sucio para los requerimientos de la obra esto representó un problema con graves consecuencia para la obra ya que significó levantar el manto por segunda vez.

Las anteriores fallas fueron corregidas, la primera con una buena localización topográfica, la segunda representó una pérdida económica bastante grande, ya que el material para el manto se había comprado en su totalidad y todo fue rechazado por la interventoría, aproximadamente 5000m³, el material de mala calidad con el que se inició la obra fue suministrado por una cantera, con la cual se pretendía obtener un buen ahorro en los materiales.

Se optó por explotar los materiales de filtro de ríos cercanos, que además de tener una granulometría muy buena para lo exigido en las normas técnicas, también representaba un ahorro importante por la distancia de acarreo, ya que los ríos donde se extrajo el material quedaban a 5Km y 25Km de los sitios de la obra. El material drenante aprobado por la interventoria fue el proveniente de canteras de Colombia.

3.1.3 Filtros

En Presa Auxiliar se realizó un sistema de filtros perimetral a ésta, los cuales permiten la recolección de aguas, producto de infiltraciones. Estos tuvieron gran importancia dentro de la obra debido a su gran longitud en cada uno de los frentes de trabajo. Se puede hablar de dos clase de filtros a) de tubería de concreto y cascajo procesado b) de

cascajo procesado. Tanto los diseños como la ubicación fueron presentados por las Empresas Publicas, aunque a medida que la obra avanzaba se fueron desarrollando filtros por el contratista previa autorización del interventor. Para la construcción de los filtros se debieron seguir en lo posible algunos parámetros:

- a) Todos los filtros deberán quedar enterrados, por lo menos 0.50m por debajo de la superficie expuesta al aire.
- b) El piso donde se coloque el filtro deberá estar perfectamente liso y continuo sin montículos ni huecos, para que el geotextil quede completamente liso sobre la superficie de apoyo.
- c) El material filtrante debe de estar libre de sustancias contaminantes, siguiendo la granulometría especificada por las empresas.

El proceso constructivo de los filtros es el mismo para los dos tipos, la única diferencia es la tubería tipo campana de uno de ellos. En la figura 3.3 se observa los diseños de los filtros sencillo y con tubería de campana.

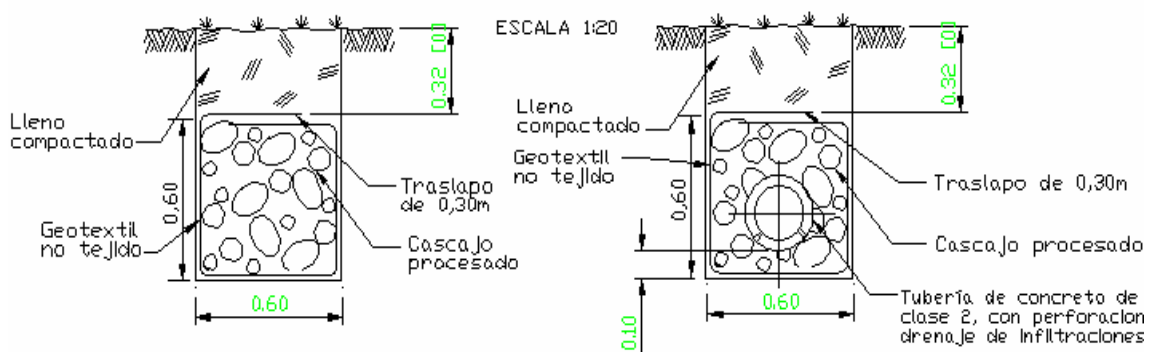


Figura 3.3 esquemas de filtros.

- Realizar la excavación de la trinchera
- Colocación del geotextil no tejido
- Adición del material granular y colocación de la tubería (si lleva)

- Doblado superior del geotextil con un traslapeo mínimo de 0.30m. No en todas las partes de los filtros lleva este traslapeo los filtros que se unen con los drenes que provienen de los taludes de la presa quedan abiertos. Ver figura 3.4

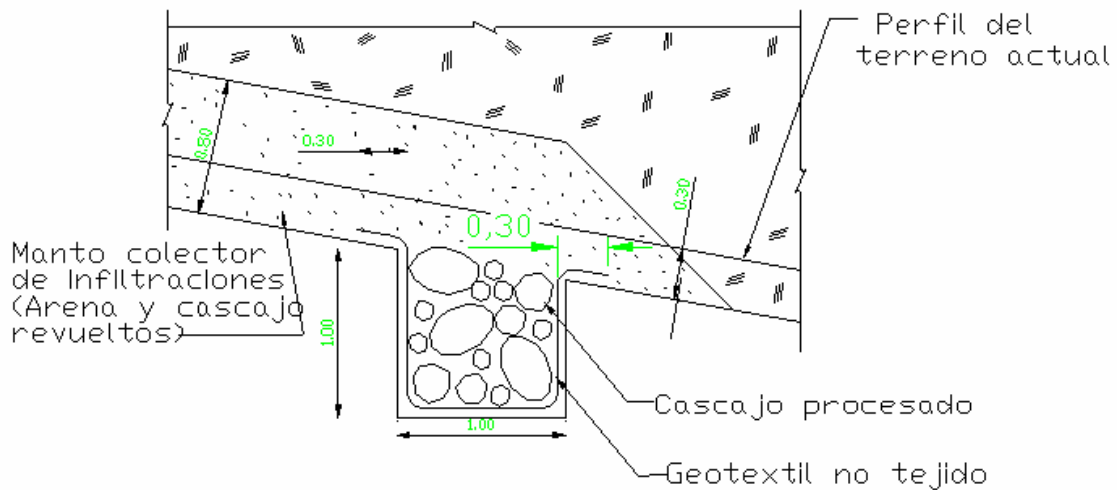


Figura 3.4 esquema de filtros ubicados en la unión de los taludes del contrafuerte.

Esta actividad, además de ser de suma importancia por sus implicaciones para la obra, era bastante sencilla y podía llevarse a cabo sin personal calificado, necesitaba de la presencia de la comisión de topografía para conservar sus pendientes.

Los problemas que se presentaron en esta actividad fueron mínimos. Se encontró que de acuerdo a la pendiente indicada en los planos (1%) en algunos sitios el filtro se localizaba por encima del nivel del terreno, lo cual llevo a modificar las dimensiones del filtro sin que cambiara el área de éste. Para esta actividad no se presentaron inconvenientes que retrasaran otras obras.

3.1.4 Pedraplen o Pata de Roca

Esta obra no estuvo concebida en los diseños dados inicialmente por las Empresas Publicas, la necesidad de ella se dió al comenzar la excavación para el manto colector de infiltraciones y por apreciación del contratista, a lo cual los asesores de las Empresas dieron su aprobación. La finalidad de esta obra es de refuerzo o sostén del lleno que se realizara en la zona del contrapeso o plazoleta central de la Presa. La Pata de Roca,

consiste en un estructura hecha de roca compactada, el cual tiene una base de 77m, una altura de 4m y unos taludes de 1.5H:1V. Para realizar esta obra se necesitó gran cantidad de roca de tamaños considerables, la cual se extrajo de una zona aledaña al vertedero donde según las Empresas Públicas se depositó la roca producto de voladuras hechas cuando se construyó la Presa Santa Rita. La dificultad de esta obra radicó en darle la pendiente adecuada a los taludes. En la figura 3.5 se observa el pedraplen hecho en la Presa Auxiliar II



Figura 3.5 Pedraplen hecho en Presa Auxiliar II.

3.1.5 Llenos en zonas de contrapeso y refuerzo

Este comprende la colocación y compactación de material (limo) sobre la zona de refuerzo y contrapeso de la Presa Auxiliar II y su volumen aproximado es de 120000 m³, de los cuales 40000 m³ serán en la zona de contrapeso(plazoleta central de la presa) hasta alcanzar la cota 1884, altura sobre la base de 8m y los 80000 m³ restantes serán colocados sobre la zona de refuerzo, la cual esta ubicada sobre los costados sur y oriental de la Presa. La ejecución de esta actividad desde el punto de vista operativo es sencilla consistiendo en seguir unos procesos previamente establecidos.

- Explotación del material en zona de préstamo. Para lo cual la maquinaria utilizada fue: Buldózer y retroexcavadoras.

- Transporte de material a la zona de lleno. Para esto fueron utilizadas volquetas doble troqué de 15 m³ cada una. La distancia recorrida dependió del sitio de la obra (presa o zona baja), ya que sólo se utilizó el préstamo 2 localizado como se indica mas adelante.
- Colocación de material. Después de descargado el material en la zona, éste se extiende. Para esto la maquinaria utilizada fueron motoniveladora en la zona de contrafuerte y buldózer en la zona de refuerzo (por la pendiente), cabe anotar que en la obra sólo se contaba con una motoniveladora por lo tanto, el buldózer apoyó bastante en esta actividad y así no retrasar los procesos ni los rendimientos programados.
- Compactación. Se compactó el material con seis pases de rodillo; se tomaban densidades: si éstas cumplían (97%) se continuaba con la segunda capa, pero si la densidad no cumplía y no era liberada por el laboratorio para seguir con los llenos se le daban mas pases de rodillo o se escarificaba, se dejaba secar el material y se volvía a compactar.



Figura 3.6 Panorámica de los llenos en presa auxiliar II

Los materiales para los llenos fueron tomadas de las zonas de préstamo. Préstamo 1 a una distancia de 2km y el préstamo 2 a una distancia de 1km de la presa. Los materiales para el lleno de la Presa fueron del préstamo 2 por las características que éste presentaba (ver Cáp. materiales).

Para la colocación de los llenos se tuvo en cuenta:

- Previamente a la construcción de todos los llenos, el terreno que servirá de base deberá ser descapotado totalmente.
- Cuando el terreno que sirvió de base para el lleno estuviera satisfactoriamente limpio y drenado, se escarificaba se conformaba y se compactaba a la humedad natural del suelo, a una profundidad de 0.15m.
- La humedad de compactación media no podía estar por encima de la óptima del ensayo. Proctor estándar en más de 6 puntos porcentuales, pero si la humedad natural era superior al valor máximo permitido, el material se aireaba y se dejaba secar, hasta que consiguiera la humedad adecuada.
- Se debían manejar espesores sin compactar de 0.20m.
- Las capas colocadas se compactaban con seis pases de rodillos.
- La densidad seca alcanzada después de la compactación no podría en ningún caso ser menor del 97% de la densidad seca máxima en el ensayo de Proctor estándar.

Según la programación de la obra esta actividad estaba prevista realizarse durante la época de verano, de julio hasta mediados de octubre. Debido al retraso que tuvo la obra en la actividad del manto, ésta sólo se comenzó a mediados de septiembre y el invierno en la zona de la obra comenzó en octubre y se extendió hasta diciembre, impidiendo la realización de los trabajos, por lo cual no se pudo terminar en el tiempo estimado.

Durante la ejecución de esta actividad los percances que ocurrieron fueron básicamente debidos al invierno reinante en los sitios de la obra. Los cuales llevaron a:

- Parar el equipo durante los momentos de lluvia.

- Material de préstamo demasiado húmedo lo que retrasaba el cargue de éste para la colocación.
- Volquetas enterradas.

Para mitigar un poco los efectos del invierno y poder continuar los trabajos en la obra, la interventoría aceptó que en la zona del contrapeso se mezclara limo con piedra cumpliendo una relación de 2 limo, 1 piedra, con esto, no se exigieron densidades, por lo tanto, el trabajo no se veía retrasado por la humedad del material y además la mezcla limo y piedra en la zona del contrapeso, cumplía con el objetivo que se tenía en el contrapeso. Esta actividad fue suspendida por la interventoría en diciembre época en la que entró el verano en los sitios de la obra.

3.1.6 Instrumentación

La instrumentación para la obra fue subcontratada con una empresa especializada en el tema (Salazar-Ferro ing.), los cuales se encargaron de la instalación de los aparatos. En la obra se instalaron los siguientes equipos:

- Piezómetros (Tubo abierto y alambre vibratorio).
- Medidores de infiltración.
- Inclínómetros
- Sistemas de Puntos de Control.

Piezómetros: Los piezómetros permiten establecer los cambios de presión que se presentan durante la operación de obras civiles, en especial aquellas que estén sometidas a aguas subterráneas, de infiltraciones o similares, y que por ende pueden producir daño a la estructura.

Instalación: Para la instalación de los piezómetros se realiza una perforación de 100mm de diámetro y una profundidad de 30m con un taladro rotatorio. El piezómetro debe de colocarse dentro de un saco de tela relleno con arena limpia previamente saturada la piedra porosa, este conjunto deberá quedar embebido en arena de filtro limpia, saturada y compactada a mano. En la figura 3.7 se observa la instalación de un piezómetro de alambre vibratorio.

Debido a que los alambres de los piezómetros quedan expuestos durante el avance de la obra se debió tener sumo cuidado con estos para no dañarlos.



Figura 3.7 instalación de piezómetro de alambre vibratorio

Medidores de Infiltración: los medidores de infiltración permiten establecer los caudales de infiltración en cada uno de los sistemas colectores de drenaje. En la zona de presa se instalaron 3 de éstos.

Estos medidores de infiltración constan de un tanque al cual se entregan las aguas directamente de la tubería del colector y los filtros a los que estos se conectaron. En la parte frontal de la caja, esta embebida una lamina galvanizada en “V”, con la que se forma un vertedero y así poder calcular el caudal que evacuan. Este caudal son todas las aguas producto de infiltraciones y agua subterráneas de la Presa Auxiliar II.

Inclinómetros: Estos permiten establecer la deflexión horizontal o vertical en diversos puntos o a diversas profundidades del lleno o cualquier estructura donde se desee monitorear posibles deformaciones por acción de las cargas o esfuerzos a las que estén sometidas.

3.1.7 Obras Adicionales

Estas se refiere a las estructuras realizadas para servir de complemento a las obras principales, se refiere entonces a la construcción de cunetas, colectores, canal de descarga final y cajas en concreto.

- Cunetas: Dentro de la Presa Auxiliar II se construyeron Aprox. 2000 m de cunetas, ubicadas en todo el perímetro del lleno de refuerzo y del contrapeso, las cuales se conectan con el canal de descarga final. Para esta obra se diseñaron tres tipos de cunetas (Cunetas tipo A, B, C). Esta actividad se comenzó a ejecutar en el momento de terminar los llenos en la presa.

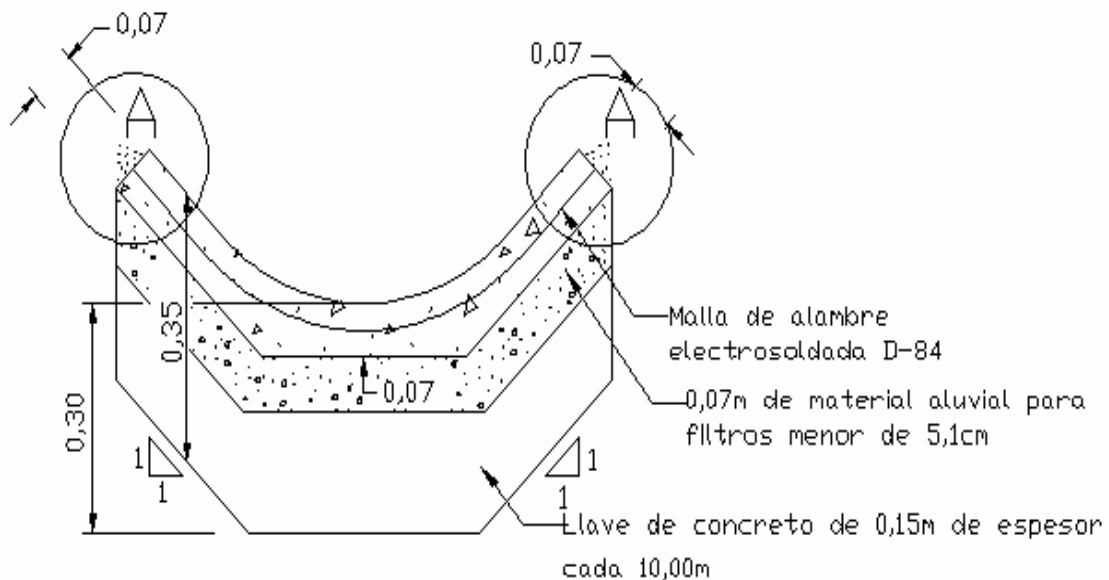


Figura 3.8 Diseño básico de cunetas

En la figura 3.8 se presenta un diseño básico de la cunetas, la tipo A, construidas en la obra, los otros dos diseños se diferencian a ésta en unos bloques prefabricados de

concreto, con unas dimensiones 0.25m x 0.4m x 0.07m ubicados sobre la sección “A”. Su proceso constructivo fue sencillo, se observa que las cunetas van apoyadas sobre un material de filtro con un espesor de 0.07m. Las cunetas fueron fundidas en tramos alternos de 3m, además las cunetas construidas en todos los frentes de trabajo debían llevar unas llaves de concreto, cada 10m en pendientes de hasta el 5% y cada 5m en pendientes mayores de 5% y así evitar la socavación o erosión de materiales.

Esta actividad no presentó inconvenientes, ya que con una mano de obra calificada se lograron unos buenos rendimientos por día, en promedio fueron de 15m aprox. por cuadrilla (1 oficial y 4 ayudantes). En el capítulo de materiales se presentan los requisitos para fundir las cunetas en la parte de concretos.

- Colector: En la presa se llevó a cabo la construcción de un colector el cual estaba conectado con las capas del manto colector de infiltraciones. El colector de infiltraciones constaba de una tubería de concreto clase III y un diámetro de 0.60m, perforada para permitir el ingreso del agua y una longitud de 42m.

Este colector principal se conectó a otro colector por medio de una caja en concreto reforzado, el cual tenía una longitud de 13m y una tubería de concreto de 0.90m de diámetro.

Las tuberías de concreto reforzado se empalmaban con uniones flexibles, utilizando empaque de caucho. La figura 3.9 presenta el diseño de los colectores de la Presa Auxiliar II

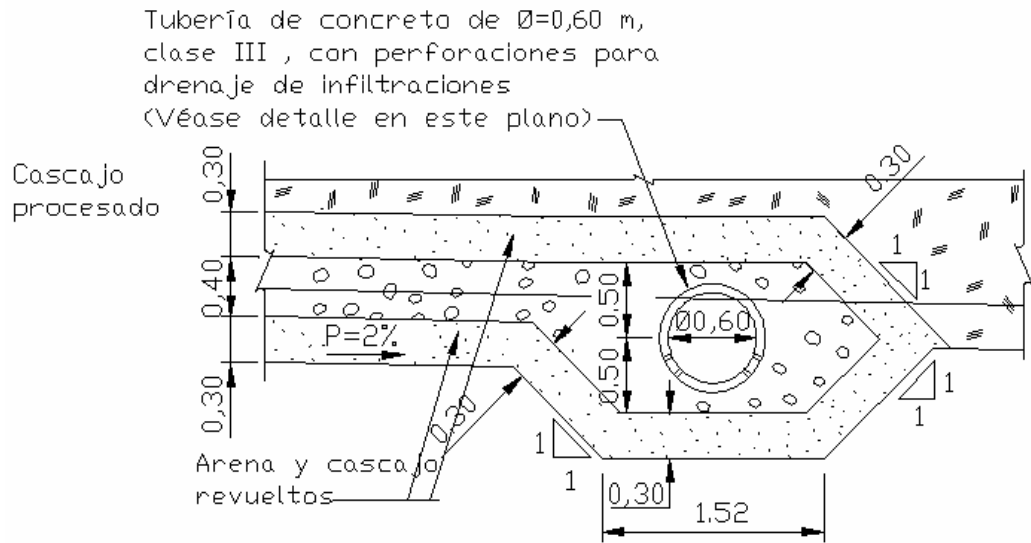


Figura 3.9 diseño de colectores

- Canal de descarga: Esta obra estaba ubicada en la parte occidental de la Presa, con una longitud de 125m, el canal se conectaba al colector secundario de la presa por medio de un medidor de infiltraciones. Y su función consiste en evacuar todas las aguas y conducir las hasta la quebrada Santa Gertrudis.

4. ZONA BAJA I

Las obras concebidas para esta parte de la obra buscaron darle estabilidad a Zona Baja I, ya que ésta correspondía a la parte más débil de toda la represa y debido a las características que presentan los materiales en esta parte de la zona. Durante la construcción de la represa, zona baja I sirvió como uno de los depósitos del proyecto. Consecuentemente el suelo es muy susceptible a que presenten procesos erosivos. Las erosiones existentes estaban localizadas principalmente en el borde del embalse y comprometían en forma parcial el lleno de refuerzo. Los diseños dados en un comienzo por las Empresas Publicas de Medellín tenían contemplado lo siguiente:

- a) Excavación exterior en material común para desperdiciar
- b) Ejecución de filtros y colectores de descarga
- c) Construcción de pedraplen o pata de roca
- d) Lleno de refuerzo
- e) Obras de descarga como cunetas, canales y cajas cambio de dirección
- f) Instrumentación

En esta parte de la obra estaba concebido menos cantidades de obras que en la Presa Auxiliar II y los criterios técnicos para la realización de las diferentes obra son los mismos que para la Presa. La diferencia de ésta con Zona Baja I fue en los procesos realizados, ya que fueron dos terrenos muy diferentes. En esta zona del proyecto fue quizás donde se desarrollaron la obras mas lindas de ingeniería no por las obra a realizar, sino por los procesos que se debieron seguir para poder culminar las obras en Zona Baja I, cuando se estaba enfrentados a terrenos tan agrestes como fueron éstos.

4.1 Excavación exterior en material común:

Esta actividad estuvo dirigida a retirar todo el material de desecho que durante la construcción de la represa fue depositado en esta parte de la obra. Los diseños inicialmente presentados por las Empresas Públicas de Medellín estaban dirigidos a la excavación de tan solo 5600 m³, al comenzar las excavaciones por parte del contratista se observa que la cantidad calculada por las Empresas Públicas era muy diferente a la que se comenzaba a vislumbrar al finalizar las excavaciones se llegó a 45000 m³. Una diferencia de casi 40000 m³. La calidad del material que se estaba excavando en esta zona era un material plástico saturado lo que se convirtió en un problema constante, además por la profundidad a la que se tuvo que llegar hasta sacar en su totalidad el material de desecho. En la figura 4.1 se observa las condiciones del terreno a extraer en Zona Baja I.



Figura 4.1 Condiciones del material excavado en zona baja I

La propuesta presentada por las Empresas no tubo en cuenta dicha cantidad de material a excavar, por consiguiente esto generó un retraso muy significativo en este frente de trabajo, con respecto a la planteado inicialmente en la programación de la obra. Además de que el contratista no contaba con el equipo suficiente para ejecutar estas excavaciones, fue necesaria la adquisición de más equipos (Volquetas y retroexcavadoras) para poder ejecutar esta actividad.

Por facilidad y organización del trabajo Zona Baja I se dividió en 5 zonas, delimitadas por una vía existente de un sólo carril y de muy difícil acceso. Zonas 1,2 y 3 se encontraban en la parte izquierda de la vía, aquí las excavaciones fueron muy pocas alrededor de 3000m³. Zonas 4 y 5 ubicadas al lado derecho de la vía y fue donde mayor cantidad de material se tuvo que extraer

Para extraer todo el material de las zonas 4 y 5 fue necesaria repalear el material con cuatro retroexcavadoras antes de cargar las volquetas, lo que generaba altos costos para el contratista y además un retraso en el tiempo de ejecución de la actividad. En la figura 4.2 se muestra el proceso de excavación.

La actividad de excavación en Zona Baja I se realizó durante los meses de octubre y noviembre, meses de mucho invierno lo que generó bastantes traumas en esta ejecución, ya que el terreno se volvía muy peligroso para la maniobra de las volquetas.



Figura 4.2 Excavación en zona baja I

4.2 Ejecución de Filtros y colectores.

Después de terminar las excavaciones, se continuaba con la construcción de filtros y colectores donde estuvieran contemplados en los diseños dados por Las Empresas. En la ejecución de estas actividades cabe resaltar varios puntos. a) estas tareas se realizaron en zonas muy complicadas para trabajar, partes muy pantanosas y con unas pendientes bastante fuertes lo que dificultaba su ejecución. b) la ejecución de filtros en toda zona

baja I se dió sobre la marcha de la obra, cada que el contratista o la interventoría lo consideraran necesario se construirían filtros, debido a las eventuales apariciones de aguas, por lo tanto, la cantidad de filtros construidos en Zona Baja I aumentó considerablemente sobrepasando los diseños iniciales. Por el carácter imprevisto de la construcción de filtros el contratista se vió en la obligación de mantener material en stok para poder cubrir los imprevistos.

En Zona Baja I se construyeron 1000 m. de filtros cubriendo así la totalidad del frente; estos filtros conectaban a los colectores que en zona baja fueron 250 m y conectaron a los medidores de infiltración construidos en el frente y evacuan las aguas hacia la quebrada Santa Gertrudis por medio de un canal en concreto.

En Zona Baja I, a diferencia de la Presa Auxiliar II se construyeron gran cantidad de colectores. Aquí la dificultad en la construcción se aumentó debido al terreno donde se instalarían los colectores. La primera dificultad se generó por el transporte de la tubería hasta el sitio donde quedaría el colector. En la mayoría de los casos para el transporte de la tubería se tuvo que utilizar retroexcavadoras de orugas y en el mejor de los casos retro pajarita, además de un recorrido bastante grande por parte de los obreros con el material de filtro y el cascajo. Otra dificultad en la construcción de los colectores fue durante el proceso, ya que en algunos colectores era difícil conseguir la estabilidad, éstos se hundían en el material de fundacion.



Figura 4.3 Filtros en zona baja I y la dificultad por las pendientes del terreno



Figura 4.4 Construcción de colectores en zonas demasiado pantanosas

4.3 Construcción de pedraplen o pata de roca:

De las obras más lindas ejecutadas en toda la obra fue el pedraplen de la zona baja I, debido a su altura y pendiente, una altura de aproximadamente 9m y taludes 1.5 H: 1V, una pendiente aparentemente muy inclinada para su altura. Para la construcción de este pedraplen se utilizaron alrededor de 2850 m³ de piedra entre el enrocado que sirvió de cama para el pedraplen y la conformación de la pata de roca. En la figura 4.5 se observa la conformación del pedraplen en zona baja I



Figura 4.5 Pedraplen de zona baja I

4.4 Lleno de refuerzo.

Los llenos en Zona Baja I se comenzaron a realizar después de terminar todas las excavaciones, filtros, colectores y el pedraplen. Para zona baja I estaba contemplado realizar un lleno de 30000m³, una cantidad que se vio considerablemente modificada al variar la cantidad de excavación que fue necesario realizar. Para ejecutar el lleno de refuerzo fue necesario una cantidad de 80000 m³ de material y la disposición del equipo adecuado para realizar esta actividad.

Debido a las fuertes pendientes y lo estrecho del terreno, la asignación de equipo para esta zona debió de ser restringido, la extensión del material se hizo con buldózer y un solo vibrocompactador, además la asignación de volquetas hacia zona baja fue mas preciso; para zona baja se manejaron rendimientos promedio día de 1000m³ colocados y compactados en días de verano y trabajando jornadas de 11 horas diarias. En las figura 4.6 y 4.7 se observan maquinas realizando el proceso de extensión de material y vibrado y zona baja I con el lleno terminado y llevando el proceso de engramado.



Figura 4.6 Maquinas extendiendo y compactando material en zona baja I



Figura 4.7 Zona baja I en proceso de engramado.

La zona del proyecto es una de los sitios mas lluviosos de Colombia, esto dificultó bastante los llenos en los diferentes frentes de trabajo, en especial en Zona Baja I, debido al terreno y la incomodidad para trabajar en éste.

4.5 Obras de descarga.

Igual que en la Presa Auxiliar se desarrollaron los mismos tres diseños de cunetas en todo Zona Baja I, siguiendo el mismo método constructivo de concretos, a diferencia en esta zona las pendientes fueron un poco más fuertes, lo que dificultaba un poco para oficiales la construcción de éste en cuanto a transporte de materiales, mezclas y ubicación de la concretadora.

4.6 Instrumentación.

La instrumentación concebida para Zona Baja consistió en la construcción de dos medidores de infiltración, ubicados ambos en la parte baja del frente y con el fin de aforar los caudales producto de infiltraciones en esta zona. Estos medidores de infiltraciones evacuan el agua hacia unos canales de descarga en concreto.

5 MATERIALES

Para llevar a cabo el desarrollo de ésta y cualquier obra, es vital contar con unos buenos materiales de construcción ya que en gran parte de éstos depende la buena calidad con que se desarrollen los proyectos.

Este proyecto en particular, necesitó de gran cuidado en los materiales utilizados para todas y cada una de las obras, ya que la obra buscaba darle estabilidad a una Presa, lo que conlleva a que los materiales cumplan con unas especificaciones técnicas mínimas.

5.1 Limo o Material de lleno

Material extraído de préstamos cercanos a los sitios de la obra, inicialmente se contemplaron la utilización de dos préstamos (préstamo 1 y préstamo 2). En las tablas 5.1 y 5.2 se presentan las características de los materiales para cada préstamo.

Tabla 5.1 Características del Préstamo 1

PRÉSTAMO 1			
	Media	Máxima	Mínimo
Clasificación USCS	MH-ML		
%<No. 200 (%)	69,4	80,8	40
LL (%)	46,2	60,6	35
IP (%)	6,5	23,4	1,1
W _{nat} (%)	32,8	41	23
Ensayo de Compactación Proctor Estándar			
W _{opt} (%)	28,7	31	18
γ _{dmax} (ton/m ³)	1,33	1,6	1,3
Tamiz ICONTEC		% que pasa cada malla	
No 4		100	
No 10		88,5 - 100	
No 20		76,0 - 92,0	
No 40		64,0 - 86,5	
No 100		46,0 - 74,0	
No 200		37,5 - 66,0	
4,00 μm		32,0 - 57,0	
1,00 μm		16 - 36,0	
0,40 μm		8,0 - 23,0	
0,20 μm		4,0 - 16,0	
0,10 μm		3,0 - 11,5	

Tabla 5.2 Características del préstamo 2

PRÉSTAMO 2			
	Media	Máxima	Mínimo
Clasificación USCS	SM-ML		
%<No. 200 (%)	47,7	73,2	27,3
LL (%)	33,8	42	27
IP (%)	6,8	10	4
Wnat (%)	23,5	30	18
Ensayo de Compactación Proctor Estándar			
Wopt (%)	17	23	14
γ_{dmax} (ton/m ³)	1,73	1,85	1,56
Tamiz ICONTEC		% que pasa cada malla	
No 4		100	
No 10		83 - 100	
No 20		58 - 99	
No 40		44 - 90	
No 100		33 - 78	
No 200		27 - 73	
4,00 μm		21 - 65	
1,00 μm		12,0 - 40,0	
0,40 μm		6,0 - 22	
0,20 μm		3,0 - 13	

5.2 Material de Filtro

El material de filtro utilizado es una mezcla de grava y arena, totalmente limpia de lodos, arcillas o desechos minerales y orgánicos. El material grueso, al ser sometido al ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles, no presentara un desgaste mayor del 50%, ni una pérdida mayor del 12% en el ensayo de durabilidad en sulfato de sodio. En la tabla 5.3 se presentan las características que debía tener el material de filtro.

Tabla 5.3 Gradación del material de filtro

Tamiz ICONTEC	Porcentaje que pasa cada malla
50,00mm (2")	100
37,50mm (1,5")	90 - 100
25,00mm (1")	70 - 90
12,50mm (1/2")	55 - 80
4,75mm (No 4)	40 - 65
2,00mm (No 10)	30 - 50
850,00 μm (No 20)	18 - 28
420,00 μm (No 40)	8 - 14

Tamiz ICONTEC	Porcentaje que pasa cada malla
180,00µm (No 80)	0 - 6
150,00µm (No 100)	0 - 3
75,00µm (No 200)	0 - 2

5.3 Material de filtro en cascajo procesado

Los materiales en cascajo procesado deben de tener las mismas características que el material de filtro en arena y cascajo revuelto. En la tabla 5.4 se presenta la gradación para este material.

Tabla 5.4 Gradación del material de filtro en cascajo procesado.

Tamiz ICONTEC	Porcentaje que pasa cada malla
76.00mm (3")	100
50.00mm (2")	66 – 88
25.00mm (1")	40 – 58
12.50mm (1/2")	23 – 35
4,75mm (No 4)	0 – 12

5.4 Tubería

La tubería de concreto simple (Utilizado en filtros) fueron del tipo campana y espigo, clase II y cumplirán lo establecido por la norma NTC 1022, la calidad será certificada de acuerdo a la norma NTC 3676.

Las tuberías de concreto reforzado fueron del tipo campana y espigo, clase II, y deberán cumplir con la norma NTC 401, la resistencia de la tubería será certificadas de acuerdo a la norma NTC 3676.

5.5 Geotextiles no tejidos

El geotextil utilizado para la construcción de los filtros y el recubrimiento de colectores debían cumplir con las siguientes propiedades mecánicas e hidráulicas. En las tablas 5.5 y 5.6 se presentan las propiedades mecánicas e hidráulicas de los geotextiles respectivamente.

Tabla 5.5 Propiedades Mecánicas de los geotextiles

Propiedades Mecánicas	Valor Mínimo del Rollo	
	Clase A	Clase B
Resistencia a la Tracción (N)	700	600
Resistencia al Punzonamiento (N)	250	180
Resistencia al estallido (Kpa)	1300	950
Resistencia al rasgado trapezoidal (N)	250	180
Resistencia de la costura (N)	630	450
Degradación UV (500 horas) %	50	50

Tabla 5.6 Propiedades Hidráulicas de los geotextiles

Propiedades Hidráulicas	Valor
A.O.S para pasa No 200<15% (mm)	0,43
A.O.S para pasa No 200 entre 15% y 50% (mm)	0,25
A.O.S para pasa No 200>50% (mm)	0,22
Permitividad para pasa No 200<15% (1/seg)	0,5
Permitividad para pasa No 200 entre 15% y 50% (1/seg)	0,2
Permitividad para pasa No 200>50% (1/seg)	0,1

Se debe de cumplir que $K_{\text{geotextil}} > K_{\text{suelo}}$.

A.O.S: Tamaño de apertura aparente

K: Permeabilidad.

5.6 Concretos

El diseño y control de las mezclas de concreto se efectuó de acuerdo con las normas colombianas de diseño y construcciones sismo resistente, NSR-98, el asentamiento de las mezclas debe de estar entre 50mm y 100mm.

La resistencia a la compresión especificada del concreto para una edad de 28 días, f'_c será la especificada en los planos y depende del tipo de estructura. Se tomaran muestras continuamente siguiendo las normas NTC 454,490,550 y 1377.

Para la colocación de concretos se debe de tener en cuenta ciertos criterios técnicos: todas las superficies que reciban concreto deben de estar libres de basura, materiales extraños, aceites, grasas, fragmentos de roca y lodo. Si el sitio donde se va a fundir presenta agua esta deberá de ser eliminada totalmente. La caída libre del concreto no

debe de ser superior a un metro para evitar la segregación del material. La operación de vibrado de las capas de concreto se harán en forma sistemática y cubriendo toda el área de la capa, pero se debe de tener cuidado de no segregar el material por exceso de vibrado. Después de terminar las excavaciones para las fundaciones se deberá de proteger el fondo con una capa de concreto pobre de 0.05m (solado).

➤ Cemento: el cemento utilizado en la obra debe de ser Pórtland tipo 1, éste no puede estar almacenado por períodos mayores a 30 días, la temperatura de éste antes de usarlo en la mezcla no podrá ser superior a 48 grados Celsius. Durante el almacenamiento del cemento, éste debe de separarse del suelo para evitar la absorción de humedad. El apilamiento se debe de hacer en hileras que no sobrepasen los diez bultos.

➤ Agregados: los agregados gruesos para la elaboración del concreto deberán cumplir con las especificaciones de las normas NTC 174. Los agregados finos para la elaboración del concreto y morteros cumplirán las especificaciones de la norma NTC 579 y 2240. El tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe de ser mayor de 1/5 de la menor dimensión entre los lados de la formaleta, 1/3 del espesor de la losa ni 3/4 del espaciamiento libre mínimo entre barras de refuerzo.

5.7 Afirmados

El material utilizado para el afirmado de las vías de la obra deberán de tener las siguientes características: El tamaño máximo no puede exceder los 50mm, el material para afirmado debe de estar totalmente libre de sustancias vegetales, bolsas de arcilla, materiales contaminados con material orgánico. El material para afirmado no podrá contener excesos de finos que lo hagan demasiado plástico, pero tampoco serán tan limpios que carezca en absoluto de plasticidad.

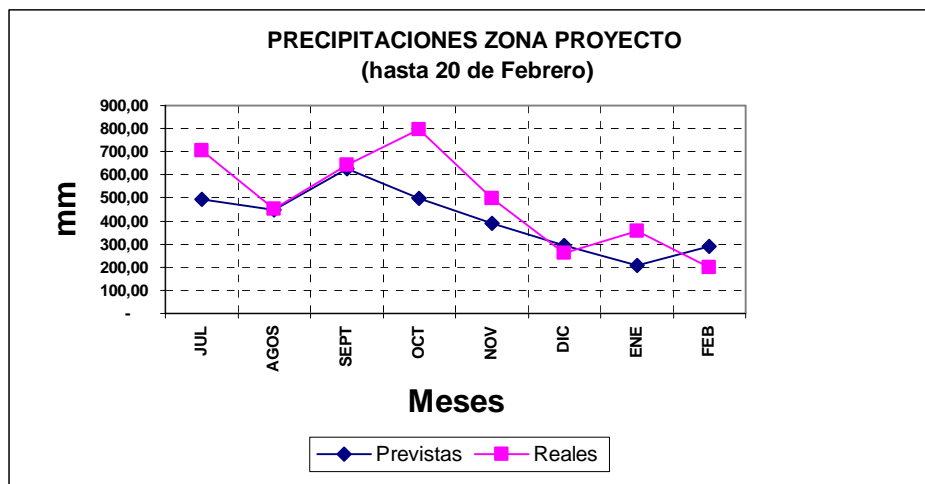
El máximo limite liquido será 35%, y el índice de plasticidad estará entre 6% y 10% para la fracción que pasa el tamiz No 40. En la tabla 5.7, se presenta la granulometría para los afirmados.

Tabla 5.7 Granulometría para afirmados

Tamiz ICONTEC	% que pasa cada malla	
	A	B
50,00mm (2")	100	
25,00mm (1")	75 - 95	100
9,50mm (3/8")	40 - 75	60 - 100
4,75mm (No 4)	30 - 60	50 - 85
2,00mm (No 10)	20 - 45	40 - 70
420,00 μ m (No 40)	15 - 30	25 - 45
75,00 μ m (No 200)	5 - 20	5 - 20

6. FACTORES EXTERNOS QUE INFLUYERON EN EL DESARROLLO DE LA OBRA.

- a) Influencia del invierno en la ejecución del proyecto: el invierno en los sitios de la obra causo retrasos importantes en la finalización del proyecto, se dio un incremento considerable en las precipitaciones comparado con años anteriores.



grafica 6.1 Precipitaciones en la zona del proyecto

ANÁLISIS DE RESULTADOS		
PERIODO	PREVISTAS PROM (mm)	REALES
TOTAL ENTRE JULIO Y ENERO	2953,07	3713,05
TOTAL PARCIAL ENTRE JULIO Y 20 DE FEBRERO	3160,04	3910,46

Tabla 6.1 Incrementos en las precipitaciones comparadas con las esperadas según promedios años anteriores

De la grafica 6.1 y la tabla 6.1 se observa que durante un periodo de septiembre a diciembre las precipitaciones aumentaron con respecto a una pluviometria promedio de los últimos 5 años. Debido al incremento en las precipitaciones en el sitio de la obra se presentaron los siguientes problemas.

a.1) Tiempo de parada de los equipos por lluvia.



Figura 6.2 se observa la maquinaria parada por efectos del invierno

a.2) Tiempo de parada y disminución de rendimientos por condiciones del material previamente instalados.



figura 6.3 Volquetas enterradas

Las volquetas se quedaban continuamente enterradas en las zonas de trabajo para lo cual se necesitaban desplazar las maquinas disponibles en los frentes buldózer o retros para sacar las volquetas.

a.3) Tiempo de parada por humedad del material en zonas de prestamos. La humedad óptima del material antes de ser instalado debía de ser del 18%. En la obra se tomaban humedades de los prestamos diariamente en las horas de la mañana y de

la figura se observa que estas humedades fueron demasiado altas. Los días en que la noche anterior había llovido no se podía trabajar hasta que el material no perdiera humedad.

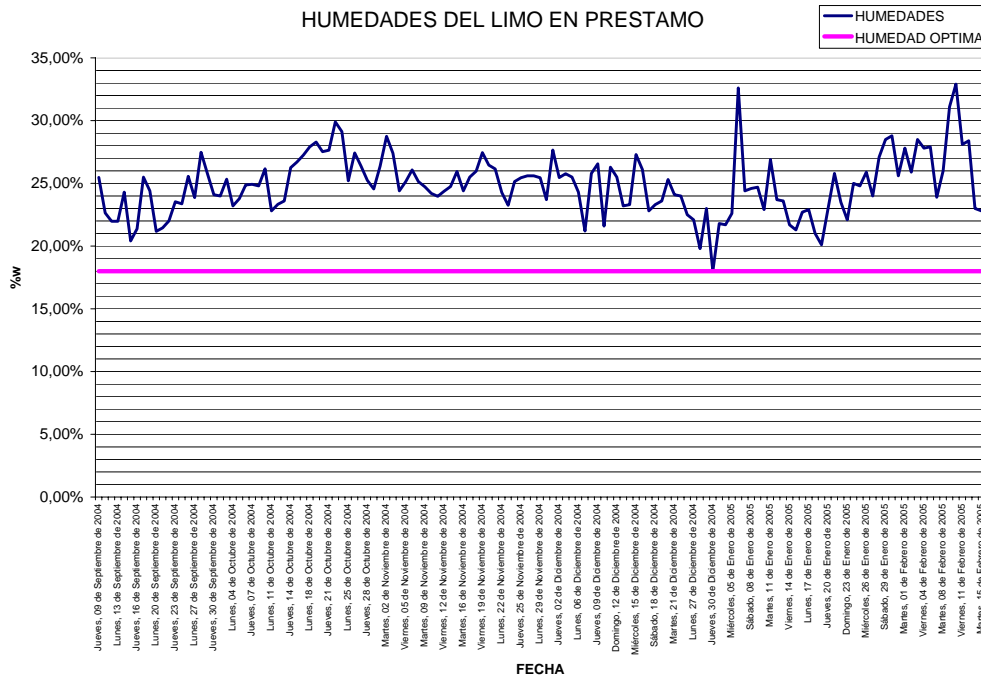


Figura 6.4 Comparación de la humedad óptima del material y la hallada día a día en el laboratorio de la obra.

a.4) Disminución del volumen de cargue por volqueta: Debido a las condiciones del piso y al mayor peso del limo por su alto contenido de humedad, las volquetas que estaban previstas transportar 15 m³ (suelos) solo podían transportar 12 m³ (suelos).

b) Dentro de la obra se dieron situaciones no contempladas dentro del los pliegos, lo cual genero un aumento en las obras a ejecutar dentro de las cuales se encuentran:

b.1) Conformación de botaderos con humus fangosos. La cantidad de material depositado en los botaderos no estaba contemplada inicialmente dentro de las obras a ejecutar, además un material demasiado saturado lo que dificulto bastante la

conformación de estos. La conformación de los depósitos se hizo con buldózer y retroexcavadoras mezclando el material con el propósito de que este se secase al sol, pero en una zona donde llovía diario era muy difícil la conformación de estos, la maquinaria continuamente se quedaba enterrada, lo que dificultaba bastante el trabajo en botaderos.



a)



b)

Figura 6.5 Conformación de botaderos con material demasiado Saturado

b.2) Excavación de material rocoso no previsto en zonas de préstamo. La granulometría dada por Empresas Públicas del préstamo 2 presentaba unas

características muy buenas para ser utilizado en los llenos pero muy diferentes a las encontradas en el terreno. Para poder explotar este préstamo el contratista necesito además de mas equipos para la explotación, mayor tiempo en el desgarrre y cargue de volquetas ya que se las bolas de roca tenían que ser retiradas. En la figura 6.6 se observa la calidad de material que se debía extraer del préstamo 1



Figura 6.6 Calidad del material excavado en el préstamo 1

b.3) Mayor cantidad de equipo en la obra: Durante el proceso de licitación el consorcio oferto con una cantidad de equipo, el cual las empresas aceptaron; debido a la cantidad de obras adicionales para zona baja, conformación de botaderos y retrasos debido al invierno y a errores cometidos durante la ejecución de actividades el consorcio se vio en la obligación de aumentar el equipo en los sitios de la obra.

Tabla 6.2 Equipo ofertado por el contratista en la licitación

EQUIPO OFERTADO	CANTIDAD						
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
MOTONIVELADORA	1	1	1	2	1	2	
VIBROCOMPACTADORES	1	1	1	2	1	2	
BULDOZER	2	3	2	2	1	2	
RETROEXCAVADORAS	2	3	2	2	1	2	
VOLQUETAS DOBLETROQUE	3	12	16	6	6	8	
VOLQUETAS SENCILLAS	0	0	0	0	0	0	

Tabla 6.3 Equipo puesto en la obra por el contratista en la obra.

EQUIPO PRESENTE EN OBRA	CANTIDAD									
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
MOTONIVELADORA	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
VIBROCOMPACTADORES	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2
BULDOZER	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5

EQUIPO PRESENTE EN OBRA	CANTIDAD									
	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
RETROEXCAVADORAS	2	2	3	6	6	5	7	7	5	5
VOLQUETAS DOBLETROQUE	7	7	7	7	10	10	13	15	17	17
VOLQUETAS SENCILLAS	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0

De la tablas 6.2 y 6.3 se observa que el contratista tuvo aumentar la cantidad del equipo para poder terminar las obras en el tiempo previsto según la ultima reprogramación aumentando los costos no previstos por mayor cantidad de equipo en obra.

PLANOS DEL PROYECTO

[Ubicación de proyecto](#)

[Presa Auxiliar II](#)

[Perfil Presa Auxiliar II](#)

[Zona Baja I](#)

[Perfiles Zona Baja I](#)

CONCLUSIONES

La realización de la obra no fue nada fácil, desde el comienzo de ésta se presentaron problemas de toda índole, administrativos, técnicos y de personal lo que desencadenó en cierto momento de la obra una crisis y un deterioro de las relaciones con la interventoría, además retrasos en la finalización y entrega del proyecto. El Consorcio como primera medida de choque a la crisis del proyecto tomó la decisión de cambiar al director de la obra después de 3 meses de ocupar el cargo y así tratar de mejorar las relaciones con las Empresas.

Las condiciones iniciales del proyecto fueron modificadas por completo, cambiando los montos y el tiempo de ejecución del trabajo, se paso de \$ 3,580'197.441 a 5,006'983.884 y en un plazo de ejecución de 180 días a 284 días.

Los problemas administrativos en la obra fueron cometidos desde el principio de ésta, comenzando con la compra de materiales inadecuados como el material de filtro y el cascajo. Aunque con esto se pretendía tener un ahorro significativo en la compra de los materiales mas utilizados de la obra, se tradujo en un retraso significativo en la ejecución de varias actividades y además generó roces entre la Interventoría y el Consorcio.

Las especificaciones técnicas dadas por Empresas Publicas de Medellín fueron cambiando o cediendo en el transcurso de la obra, para darle un poco mas de dinamismo a la obra y colaborar con el contratista en el desarrollo de la misma.

BIBLIOGRAFIA

CONSORCIO HEYMOCOL-GAMA S.A. Metodología para la realización y realización de procesos. Santafé de Bogota, 2004

Empresas Publicas de Medellín. Especificaciones técnicas para la construcción de las obras de actualización de la Presa Santa Rita. Medellín, 2004

Empresas Publicas de Medellín. Pliego de condiciones para la construcción de las obras de actualización de la Presa Santa Rita. Medellín, 2004

Empresas Publicas de Medellín. Informe de análisis e interpretación de resultados de la exploración geotécnica. Medellín, 2004