



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.  
FACULTAD DE INGENIERÍA.  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO  
DE LAS OBRAS DE EXCEDENCIAS Y DE CONTENCIÓN DEL  
P. H. LA YESCA**



**TESIS  
INGENIERO CIVIL**

**ALUMNO:** Mauricio Del Olmo Gil

**Nº de CUENTA:** 09804203-4

**DIRECTOR DE TESIS:** Dr. Humberto Marengo

---

---

Ciudad Universitaria, México D. F., 2007



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

*Primero quiero agradecer a cada una de las personas que, directa o indirectamente, han sido parte de mi vida y que me han ayudado a formarme tanto en lo personal como en la vida profesional dentro y fuera de la Universidad.*

*Sobre todo quiero agradecer a mi Familia: a mi Papa y a mi Mama, a mis hermanos Esteban y Andrés y de manera muy especial a Alison, mi nueva familia, por el amor y el apoyo en todo momento para poder terminar esta carrera y estar escribiendo hoy estos agradecimientos.*

*Agradezco a los amigos de toda la vida que al pasar de los años, con los viajes y las fiestas, me han hecho vivir por separado o en grupo momentos y experiencias inolvidables, y que por miedo a dejar alguno fuera de la lista no escribiré sus nombres pero que cada uno de ellos sabe a quienes me refiero.*

*Quiero agradecer a mi Facultad de Ingeniería, junto con todos sus maestros y trabajadores, los cuales me han dado la oportunidad de estudiar esta maravillosa carrera no solo en México sino también en Canadá.*

*A los amigos y compañeros de esta facultad que me han hecho sentir parte de ella, pero sobre todo a un gran amigo llamado “García” que con su chispa y su buena vibra me ha enseñado lo que es la amistad.*

*Le agradezco al Dr. Humberto Marengo por la oportunidad que me dio de realizar este trabajo de tesis con él, y por toda la dedicación y la paciencia a lo largo de este proceso de titulación.*

*Por último, quiero agradecer a cada una de las personas que laboran en Ingeniería, Asesoría y Consultoría las cuales me han enseñado todo lo necesario para la realización de esta tesis, y a sus fundadores los ingenieros Enrique Heredia y Alfonso Arce por darme la oportunidad de trabajar y desarrollarme como ingeniero en esta empresa.*

## ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>Antecedentes .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>Proyecto Hidroeléctrico La Yesca .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>Concepto .....</b>   | <b>16</b> |
| <b>Objetivo .....</b>   | <b>18</b> |
| <br>  |           |
| <b>I. ESQUEMA GENERAL .....</b>   | <b>19</b> |
| <b>I.1. Planos .....</b>  | <b>19</b> |
| I.1.1. Planta General .....   | 19        |
| I.1.2. Datos Generales de Diseño .....  | 20        |
| I.1.3. Planta y Perfil de la Obra de Excedencias .....                                  | 22        |
| I.1.4. Planta y Perfil de la Obra de Contención .....                                   | 24        |
| <br>  |           |
| <b>II. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS .....</b>                                  | <b>27</b> |
| <b>II.1. Generalidades .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>II.2. Secuencia de Excavación .....</b>  | <b>29</b> |
| II.2.1. Duración de las Excavaciones .....  | 34        |
| II.2.2. Histograma de Excavación .....  | 38        |
| II.2.3. Programa de Ejecución de los Trabajos de Excavación .....                       | 39        |
| II.2.4. Recursos .....  | 40        |
| II.2.5. Desarrollo del Cálculo del Rendimiento de Excavación en Roca por Voladura ..... | 44        |
| II.2.6. Análisis de la Producción .....   | 46        |
| <br>  |           |
| <b>II.3. Concretos en Obra de Excedencias .....</b>                                     | <b>48</b> |
| II.3.1. Estructura de Control .....   | 48        |
| II.3.2. Canal de Descarga .....   | 53        |
| II.3.3. Cubeta Deflectora .....   | 56        |

|               |   |            |
|---------------|---|------------|
| <b>III.</b>   | <b>DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE CONTENCIÓN .....</b>   | <b>57</b>  |
| <b>III.1.</b> | <b>Generalidades.....</b>   | <b>57</b>  |
| <b>III.2.</b> | <b>Materiales Requeridos en el Proyecto .....</b>   | <b>59</b>  |
| III.2.1.      | Materiales de Relleno para la Obra de Contención.....   | 59         |
| <b>III.3.</b> | <b>Construcción de la Obra de Contención.....</b>   | <b>63</b>  |
| III.3.1.      | Excavaciones en Laderas y Cauce del Río .....   | 63         |
| III.3.2.      | Construcción de Pre-Atagüa y Atagüa Aguas Abajo.....  | 64         |
| III.3.3.      | Pantallas Plásticas Impermeables.....   | 67         |
| III.3.4.      | Bombeo del Recinto.....   | 69         |
| III.3.5.      | Construcción de Atagüa Integrada y Cortina.....   | 70         |
| <b>IV.</b>    | <b>OPTIMIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.....</b>   | <b>89</b>  |
| <b>IV.1.</b>  | <b>Generalidades.....</b>   | <b>89</b>  |
| <b>IV.2.</b>  | <b>Vialidades.....</b>  | <b>91</b>  |
| IV.2.1.       | Caminos de Acceso.....  | 91         |
| IV.2.2.       | Caminos Definitivos .....   | 92         |
| IV.2.3.       | Caminos de Construcción.....  | 92         |
| IV.2.4.       | Construcción de Caminos.....  | 94         |
| IV.2.5.       | Plano General de Caminos.....   | 95         |
| <b>IV.3.</b>  | <b>Balance de Materiales.....</b>   | <b>96</b>  |
| IV.3.1.       | Material Aprovechable Producto de la Excavación en la Obra de Excedencias.....                                      | 96         |
| IV.3.2.       | Existencias Totales de Material Aprovechable .....  | 99         |
| IV.3.3.       | Análisis de Necesidades contra Existencias .....  | 102        |
| <b>IV.4.</b>  | <b>Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención .....</b>                | <b>104</b> |
| IV.4.1.       | Descripción de la Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención.....      | 104        |
| IV.4.2.       | Esquemmatización de la Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención..... | 107        |
| <b>IV.5.</b>  | <b>Programa General de Construcción (Optimizado).....</b>   | <b>114</b> |
| <b>IV.6.</b>  | <b>Presupuesto (Optimizado).....</b>  | <b>115</b> |
| <b>IV.7.</b>  | <b>Presupuesto Correspondiente a un Vertedor con un Procedimiento de Construcción Anterior al Optimizado.....</b>   | <b>118</b> |
| IV.7.1.       | Balance de Materiales .....   | 118        |
| IV.7.2.       | Histograma de Manejo de Materiales .....  | 122        |
| IV.7.3.       | Presupuesto.....  | 123        |
| <b>IV.8.</b>  | <b>Comparativa de Costos .....</b>  | <b>126</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>V. CONCLUSIONES Y RESULTADOS.....</b> | <b>127</b> |
| <b>Conclusiones .....</b>                | <b>127</b> |
| <b>Resultados .....</b>                  | <b>129</b> |
| <b>ANEXOS.....</b>                       | <b>131</b> |
| <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                | <b>133</b> |

## **INTRODUCCIÓN**

### **Antecedentes**

En México la entidad encargada de generar, transmitir, distribuir y comercializar electricidad a todo el país es la Comisión Federal de Electricidad (C. F. E). Esta institución cuenta actualmente con 24.2 millones de clientes, que equivalen a casi 80 millones de mexicanos, y cada año suma 900 mil contratos nuevos (C. F. E., dic 2006); estos clientes o contratos pueden ser desde una casa habitación, un establecimiento comercial, una fábrica, hasta grandes complejos industriales que requieren de enormes cantidades de energía para operar al 100% los 365 días del año.

Para poder dar abasto a los clientes ya existentes y los que se adicionan año con año la Comisión Federal de Electricidad tiene identificados, en su fase de planeación, 512 proyectos posibles a desarrollarse en México (Marengo, 2006) y pone constantemente en marcha la construcción de plantas generadoras que ayudan a mejorar el margen de reservas del Sistema Eléctrico Nacional; y con esto, impulsar el desarrollo del país.

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

La producción de energía eléctrica en México a diciembre del 2006 estaba dividida, según datos de la Comisión Federal de Electricidad, como se muestra en la tabla 1:

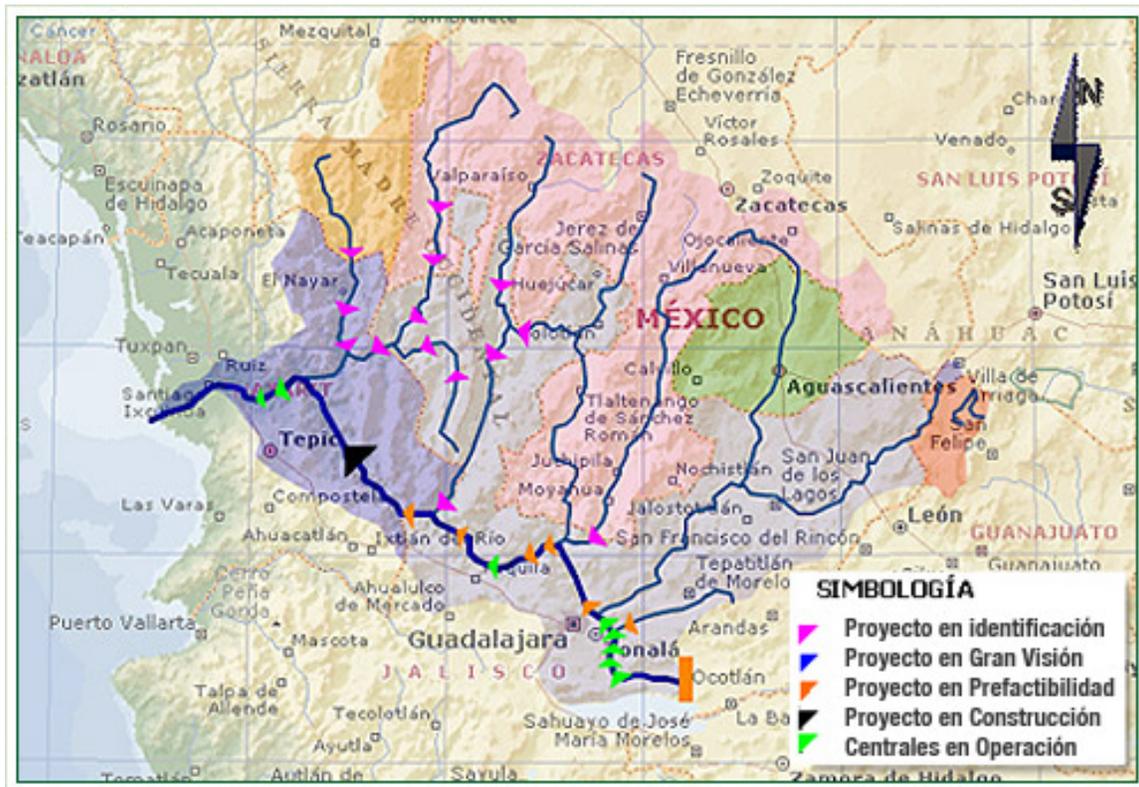
|   |                     |
|---|---------------------|
| Termoeléctricas (C.F.E.)                                  | 22,258.86 MW        |
| Termoeléctricas (Productores Independientes)              | 10,386.90 MW        |
| Hidroeléctricas   | 10,284.98 MW        |
| Carboeléctricas   | 2,600.00 MW         |
| Nucleoeléctricas  | 1,364.88 MW         |
| Geotermoeléctricas  | 959.50 MW           |
| Eoloeléctricas  | 2.18 MW             |
| <b>TOTAL</b>  | <b>47,857.30 MW</b> |
| Fuente: Comisión Federal de Electricidad (diciembre 2006) |                     |

**Tabla 1.- Producción de Energía en México**

Como puede observarse en la tabla 1, de toda esta diversidad las termoeléctricas son las que llevan la delantera en nuestro país en cuanto a capacidad efectiva instalada para generar energía eléctrica; esto por que de 1994 a 2000 existió un auge de precios bajos en energéticos y el país decidió invertir en plantas de generación de energía con ciclo combinado. En la actualidad, el gas natural está tomando un precio realista y el combustóleo está en 70 dólares el barril (Marengo, 2006), lo que ha colocado a las hidroeléctricas de nuevo en el mapa como una de las mejores fuentes de generación, ya que tienen un costo de operación muy bajo y por que la hidroelectricidad es una fuente renovable de energía. Con la concepción de nuevas centrales hidroeléctricas en México, se evita la combustión de millones de barriles de combustóleo al año y con esto, una disminución considerable de los agentes contaminantes que deterioran nuestro medio ambiente, como los gases invernadero asociados a esta combustión.

Entre los proyectos hidroeléctricos más importantes de la C. F. E. en los últimos años destaca el de El Cajón (finalizado en el 2007). Esta presa, que se construyó sobre el río Grande de Santiago, el cual nace en el lago de Chapala (cerca de Ocotlán) y recorre los estados de Jalisco y Nayarit hasta desaguar en el océano pacifico, forma parte del Sistema Hidrológico Santiago.

Este sistema hidrológico está concebido con 27 centrales hidroeléctricas que tendrán una potencia instalada de 4 mil 300 MW (C. F. E., 2006). De estos 27 proyectos planeados se han construido y puesto en funcionamiento solo seis (figura 1), entre los que destacan la C. H. Aguamilpa-Solidaridad (aprox. 60 kilómetros aguas abajo de el P. H. El Cajón) y la C. H. Manuel M. Diéguez, Santa Rosa (ambas en operación).



**Figura 1.- Esquema con los 27 proyectos hidroeléctricos dentro del Sistema Hidrológico Santiago (C. F. E.)**

La Comisión Federal de Electricidad es conciente de que estas seis centrales hidroeléctricas representan tan solo el 32% del aprovechamiento integral del Sistema Hidrológico Santiago. Es por esto, que se han puesto en marcha los estudios para la construcción de una nueva central de generación en el país: “El Proyecto Hidroeléctrico La Yesca”.

## **Proyecto Hidroeléctrico La Yesca**

El Proyecto Hidroeléctrico La Yesca se empezó a estudiar en el año de 1957 por la extinta Comisión Lerma-Chapala Santiago y posteriormente en 1965 por el Departamento de Planeación y Estudios de la C.F.E., aunque ya desde 1961 esta dependencia había iniciado algunos reconocimientos geológicos.

En 1980 la Superintendencia de Estudios Zona Pacífico Norte (SEZPN) y el Centro de Anteproyectos del Pacífico Norte (CAPN) reiniciaron los estudios en forma integral de la zona aledaña a la confluencia de los ríos Santiago y Bolaños. La primera se encargó de los estudios geológicos y el segundo de los trabajos de anteproyecto. Después de analizar cinco ejes alternativos se llegó a la conclusión de que el eje denominado La Yesca era el que presentaba las mejores condiciones topográficas y geológicas.

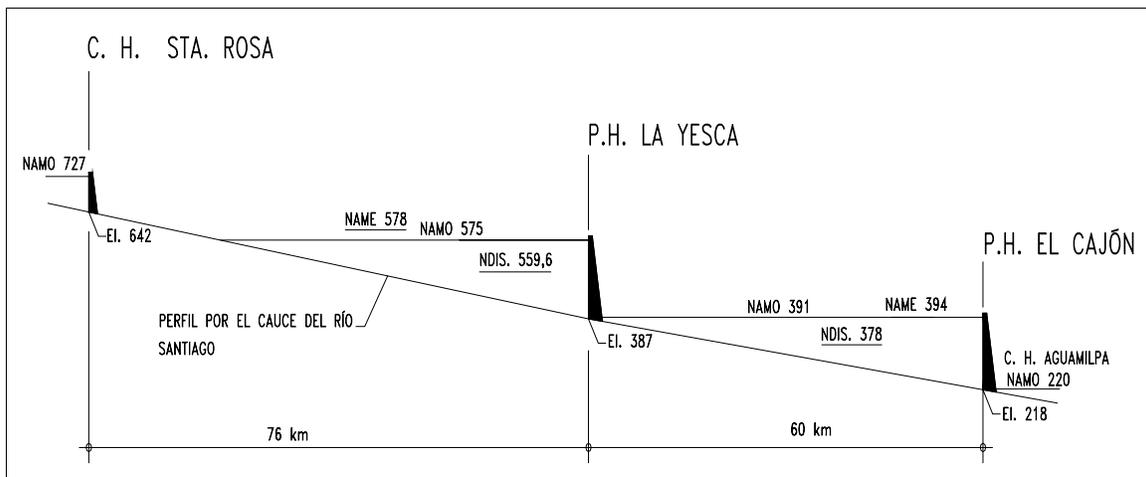
El P. H. La Yesca se encuentra localizado a 90 Km. en línea recta al noroeste de la ciudad de Guadalajara, en el municipio de Hostotipaquillo, a 4 Km. aguas abajo de la confluencia de los ríos Bolaños y Santiago. Sobre este último río, integrará el aprovechamiento “en cascada” ya que su futuro vaso se localizará entre la presa Santa Rosa y el embalse que formará la presa El Cajón. El 80 por ciento de su vaso se encontrará en el estado de Jalisco, pero la cortina se sitúa entre los límites de este estado y del estado de Nayarit.

Sus coordenadas geográficas son: 21°11'49” de Latitud Norte y 104°06'21” de Longitud Oeste, como se muestra en la figura 2.



Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

teniendo una altura total al desplante de 220 m. La capacidad de su embalse será de 2,300 millones de metros cúbicos de agua, con el NAME a la elevación 578 msnm y el NAMO a la elevación 575 msnm. Para su construcción se colocará un volumen de material de aproximadamente 12 millones de m<sup>3</sup> hasta la corona a la elevación 579 msnm (C. F. E., 2006). En comparación con la presa El Cajón, esta presa será 30 metros más alta y 20 por ciento más voluminosa; se localizará aproximadamente a 76 Km. aguas abajo de la C. H. Santa Rosa y 60 Km. aguas arriba del P. H. El Cajón, tal y como lo ejemplifica la figura 3.



**Figura 3.- Perfil por el cauce del río Santiago**

La Yesca tendrá una potencia total instalada, con dos generadores de eje vertical (síncrono), de 750 MW, equivalente al 15% del consumo eléctrico anual del estado de Jalisco. Las turbinas serán tipo Francis (vertical) de 380.32 MW con un gasto de diseño por unidad de 250 m<sup>3</sup>/s.

Contará con dos túneles de desvío, los cuales serán de 14 x 14 metros de sección portal. El túnel número 1 tendrá una longitud de 693.35 m y el túnel número 2 una longitud de 750.58 m.

La ataguía aguas arriba estará integrada a la cortina. Esta ataguía tendrá un volumen aproximado a los 613 mil m<sup>3</sup> y una altura de 64 m. Además de esta ataguía, contará con una pre-ataguía aguas arriba y una ataguía aguas abajo.

El P. H. La Yesca ocupará el segundo lugar en potencia junto a la C. H. El Cajón y el tercero en generación dentro del Sistema Hidrológico Santiago sólo después de las centrales hidroeléctricas Aguamilpa y El Cajón. Ocasionará un incremento de la energía firme a 1,210 GWh anuales, pero su principal objetivo será el aumento de energía disponible en horas pico del país, es decir, es un proyecto para generación de energía eléctrica de punta.

La C. F. E. tiene planeado iniciar su construcción en el segundo semestre del 2007 para poder estar en condiciones de entrar en operación a principios del año 2012. Se tiene considerada una inversión de aproximadamente 835 millones de dólares, todo esto bajo el esquema de Obra Pública Financiada; es decir, el constructor tendrá que financiar la construcción durante la duración del proyecto y la Comisión pagará al momento de la terminación del mismo. Los fondos para la obra se generarán por medio de un mecanismo en el que la C. F. E. informa a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público cuanto cuesta el proyecto y ésta emite un Proyecto de Inversión con Impacto Diferido en el Registro del Gasto (PIDIREGAS), estima la tasa de interés y el flujo financiero que debe haber (Marengo, 2006).

Se estima que se generarán 10 mil empleos, entre directos e indirectos, a lo largo de los casi 4 años y medio de construcción.

## Concepto

Después de determinar con exactitud, haciendo uso de los estudios geológicos proporcionados por la SEZPN, el sitio donde se localizará la cortina, la C. F. E. a través de la Coordinación de Proyectos Hidroeléctricos ha hecho la planeación y el diseño de las diferentes estructuras requeridas para el Proyecto Hidroeléctrico La Yesca. Entre las estructuras que contempla este proyecto hidroeléctrico se encuentran las dos que involucra este trabajo de tesis: la Obra de Excedencias y la Obra de Contención.

Por un lado se sabe que la obra de contención (la cual se analizará a detalle en el capítulo III), tiene un volumen total en cortina de 12'278,550 m<sup>3</sup>, de los cuales 613,679 m<sup>3</sup> corresponden a la ataguía aguas arriba integrada a la misma. La ataguía aguas abajo también se encuentra dentro del cuerpo de la cortina y su volumen es de 86,760 m<sup>3</sup>; además de ésta, también se tiene considerada una pre-ataguía aguas arriba que requiere de un volumen de 421,786 m<sup>3</sup> de materiales.

Para cubrir toda esta necesidad de material en la obra de contención se ha propuesto utilizar el material de buena calidad producto de las excavaciones. Las excavaciones en las diferentes estructuras se dividen en subterráneas y exteriores. Las excavaciones subterráneas se ha calculado que generarán solo 621,754 m<sup>3</sup> de enrocamiento, dejando así que los grandes bancos de suministro de materiales sean las excavaciones exteriores y como es de esperarse, el mayor porcentaje del material obtenido de estas últimas será producto de la excavación en la obra de excedencias.

Por otra parte, de la excavación en el canal vertedor propuesto por Comisión (del cual se desarrollará todo el análisis para su construcción en el capítulo II), se calcula obtener un volumen total de material de 10'361,915 m<sup>3</sup>, de los cuales el 43 % (alrededor de 4 millones y medio de m<sup>3</sup>), se consideran material de desperdicio por no poder ser reutilizado en la obra de contención, es decir, se podrán utilizar en la cortina y ataguías

5'839,692 m<sup>3</sup> de material de buena calidad producto de las excavaciones en la obra de excedencias.

Al volumen de material de buena calidad proveniente del vertedor se le tendrá que adicionar los 621 754 m<sup>3</sup> de enrocamiento producto de las excavaciones subterráneas y los volúmenes de material resultado de las demás excavaciones exteriores, como la subestación y la plataforma para lumbrera de cierre final, para llegar a un total de material aprovechable de 8'584,533 m<sup>3</sup>.

Este total de material aprovechable generado por la suma de todas las excavaciones es un volumen de material que se considerará en banco, debido a que al colocar el material en la obra de contención éste no podrá ser compactado hasta quedar de igual forma a como estaba en su estado original. Por esto, se le tendrá que adicionar un factor de contracción volumétrica del 10% para, ahora si, obtener el volumen total de material aprovechable a colocar en cortina.

Se sabe también que del volumen total de materiales de relleno para la obra de contención no todo es enrocamiento. Un gran porcentaje de este volumen se conformará de aluvión (material 3B), el cual se puede cubrir perfectamente con el banco de aluvión existente. El enrocamiento por otra parte, se compone básicamente de materiales 3C, 3G, 3H, 4 y T, los cuales sumados dan las necesidades totales de enrocamiento en la obra de contención.

Conociendo entonces las necesidades totales de enrocamiento y las existencias totales de material aprovechable a colocar en la cortina, se podrá presentar un programa de actividades optimizando los tiempos y los costos de construcción de las diferentes estructuras. Con estos fines, este programa deberá tomar en cuenta el material de desperdicio así como los posibles sobrantes o faltantes, pero sobre todo que el inicio de la construcción de la cortina estará desfasada un año del comienzo de las actividades del proyecto y que con este desfasamiento inevitablemente se ocasionará un almacén de enrocamiento; él cual, junto con el desperdicio, se deberá disminuir al máximo para que el costo generado por estos volúmenes también disminuya.

## **Objetivo**

El objetivo de este trabajo de tesis es mostrar un procedimiento de construcción optimizado de la obra de excedencias y de la obra de contención; garantizando, con una buena planeación estratégica y un buen manejo de los tiempos de ejecución, que los volúmenes de material que requieran ser almacenados y volúmenes de material de desperdicio, así como los posibles sobrantes o faltantes se reduzcan al máximo y con ellos los costos que generen estos volúmenes. Esta planeación requerirá entonces, tomar en cuenta los tiempos dados por la Comisión, las necesidades de material en la cortina y las existencias de material aprovechable provenientes de las diferentes estructuras del proyecto, pero sobre todo del vertedor.

Aunada a esta optimización se tendrán que plantear alternativas para la localización de bancos de material donde depositar el desperdicio, diseñar caminos de acceso, definitivos y de construcción, así como describir la maquinaria necesaria para cumplir con los fines deseados, los frentes de trabajo considerados y las obras complementarias que estén directamente relacionadas con la construcción de estas dos estructuras, como pueden ser los concretos y montajes respectivos.

Con una buena optimización en este procedimiento constructivo se podrá ahorrar, como se mencionó anteriormente, tanto en el aspecto económico como en la reducción de tiempos de construcción, y con esto que los objetivos y metas planeadas por la Comisión Federal de Electricidad se realicen satisfactoriamente y así, continuar contribuyendo al desarrollo económico del país.

## **I. ESQUEMA GENERAL**

*En este capítulo se presentará el esquema de obras del P. H. La Yesca utilizado para el desarrollo de esta tesis. Primero se expondrá una planta general y se definirán los datos generales de diseño; posteriormente se hará lo propio con la obra de excedencias y la obra de contención, en esta última se definirán también los materiales de relleno a utilizar en la cortina y para ambas estructuras se expondrán los perfiles correspondientes.*

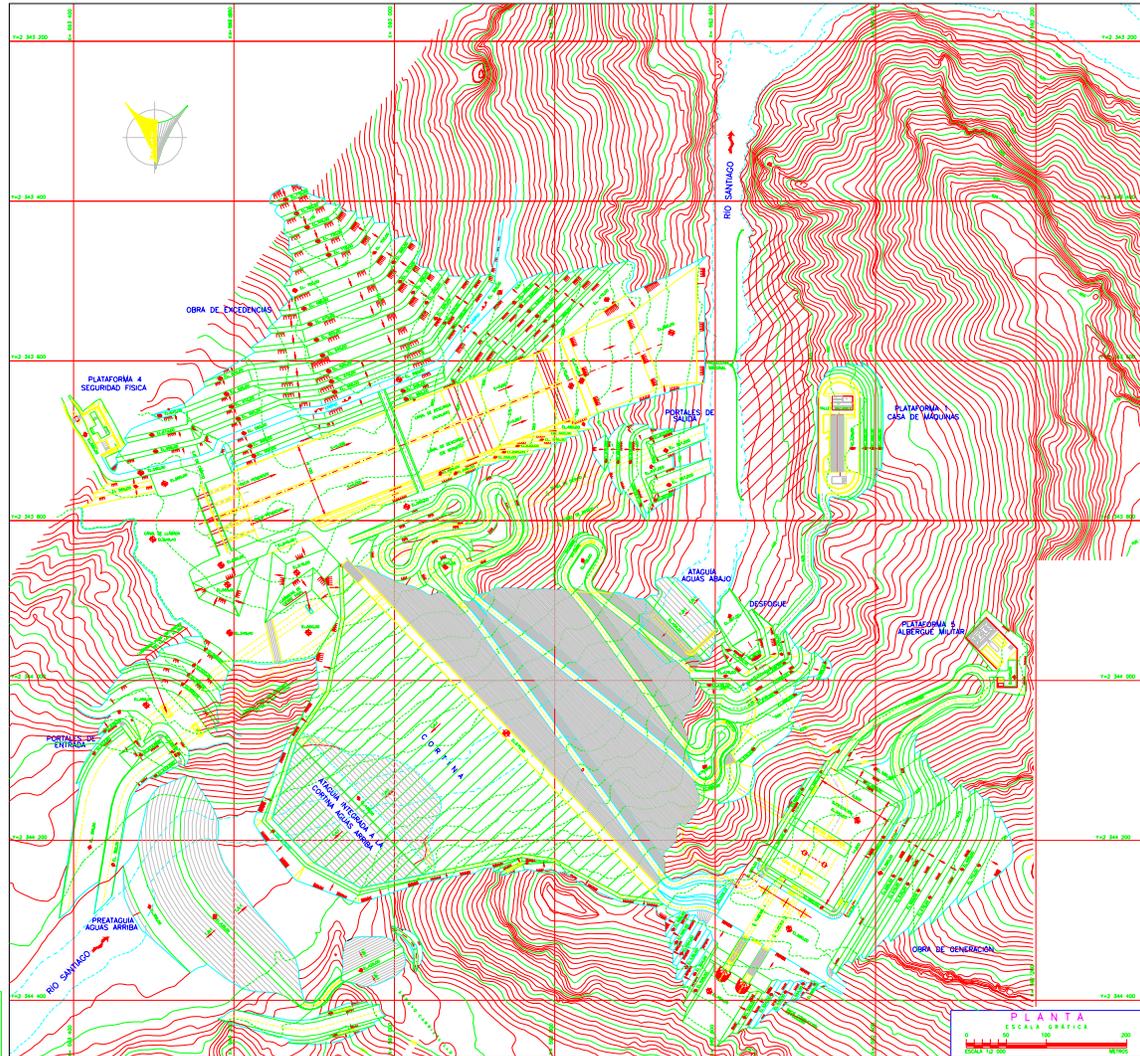
### **I.1. Planos**

#### **I.1.1. Planta General**

El arreglo general del P. H. La Yesca presenta una estructura de contención de enrocamiento con cara de concreto, pre-ataguía aguas arriba, ataguía aguas abajo y la ataguía integrada a la cortina, como se observa en la figura I.1.; por un lado, en la margen izquierda, se encuentra la obra de excedencias con vertedor a cielo abierto y la

## Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

obra de desvío consistente en dos túneles de sección portal; y por el otro, en la margen derecha del proyecto, la obra de generación con casa de máquinas subterránea.



**Figura I.1.- Planta general del P. H. La Yesca**

### I.1.2. Datos Generales de Diseño

En la tabla I.1. se enlistan los datos generales de diseño del P. H. La Yesca.

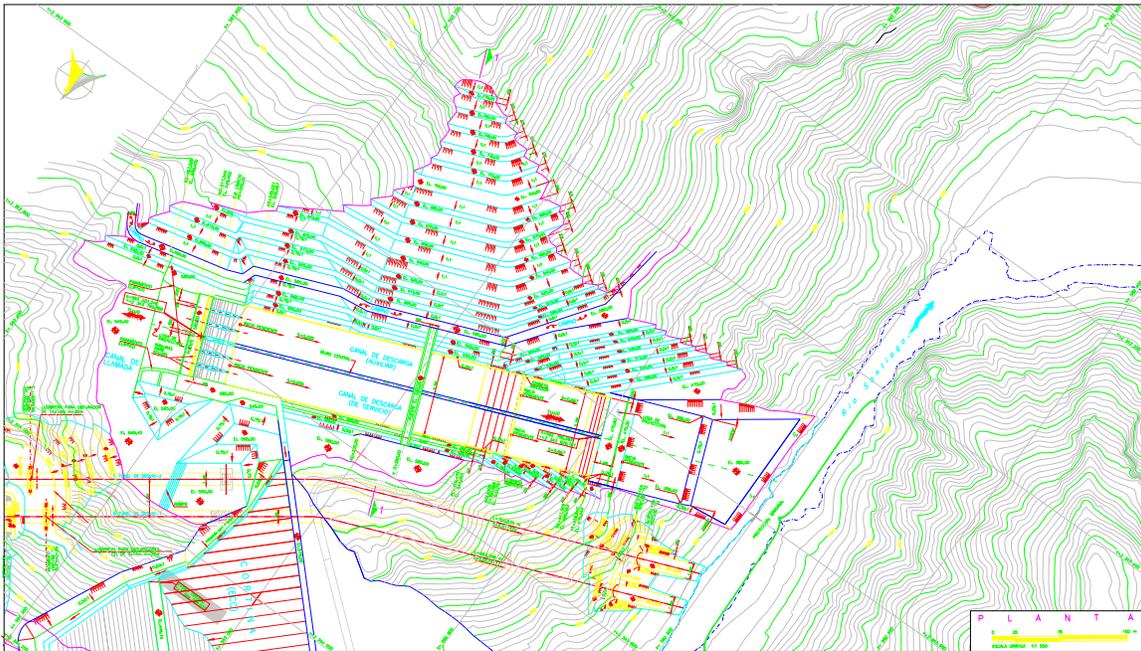
## Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

|   |                            |
|---|----------------------------|
| <b>HIDROLOGÍA</b>   |                            |
| ÁREA TRIBUTARIA   | 51,990 Km <sup>2</sup>     |
| ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL                                       | 3,088.20 hm <sup>3</sup>   |
| ESCURRIMIENTO MEDIO MENSUAL                                     | 97.86 m <sup>3</sup> /s    |
| GASTO MEDIO APROVECHABLE  | 92.50 m <sup>3</sup> /s    |
| VOLUMEN MEDIO ANUAL DE AZOLVES (SUSPENSIÓN Y ARRASTRE DE FONDO) | 4.57 hm <sup>3</sup>       |
| PERIODO DE REGISTRO   | 54 años                    |
| <b>EMBALSE</b>  |                            |
| ÁREA AL NAME  | 3,348 ha                   |
| NAME  | 578 msnm                   |
| NAMO  | 575 msnm                   |
| NIVEL DE DISEÑO (CARGA DE DISEÑO DE LA TURBINA)                 | 556.49 msnm                |
| NAMINO  | 518 msnm                   |
| NIVEL DEL AGUA EN EL RÍO CON 1U (A GASTO DE DISEÑO)             | 389.03 msnm                |
| NIVEL DEL AGUA EN EL RÍO CON 2U (A GASTO DE DISEÑO)             | 390.72 msnm                |
| CAPACIDAD AL NAME   | 2,392.90 hm <sup>3</sup>   |
| CAPACIDAD AL NAMO   | 2,292.90 hm <sup>3</sup>   |
| CAPACIDAD AL NAMINO   | 900.90 hm <sup>3</sup>     |
| CAPACIDAD PARA REGULAR AVENIDAS                                 | 100 hm <sup>3</sup>        |
| CAPACIDAD ÚTIL  | 1,392 hm <sup>3</sup>      |
| <b>OBRA DE DESVÍO</b>   |                            |
| TIPO: TÚNEL SECCIÓN PORTAL                                      | 2 de 14.00 x 14.00 m       |
| GASTO MÁXIMO DE LA AVENIDA DE DISEÑO (Tr = 100 AÑOS)            | 7,578 m <sup>3</sup> /s    |
| GASTO MÁXIMO DE DESCARGA  | 5,730.60 m <sup>3</sup> /s |
| LONGITUD TOTAL DE 2 TÚNELES                                     | 1,443.92 m                 |
| ALTURA DE LA ATAGUÍA DE AGUAS ARRIBA                            | 69 m                       |
| VOLUMEN APROXIMADO DE LA ATAGUÍA                                | 524,584 m <sup>3</sup>     |
| ALTURA DE LA PRE-ATAGUÍA DE AGUAS ARRIBA                        | 38 m                       |
| VOLUMEN APROXIMADO DE LA PRE-ATAGUÍA                            | 391 850 m <sup>3</sup>     |
| <b>OBRA DE GENERACIÓN</b>                                       |                            |
| NÚMERO Y TIPO DE UNIDADES                                       | 2 Francis                  |
| DIÁMETRO INTERIOR DE LA TURBINA                                 | 7.70 a 5.48 m              |
| LONGITUD DE CONDUCCIÓN A PRESIÓN POR UNIDAD                     | 236.70 m                   |
| CASA DE MÁQUINAS SUBTERRÁNEA                                    | 103.50 x 22.20 x 50.00 m   |
| GASTO DE DISEÑO POR UNIDAD                                      | 250 m <sup>3</sup> /s      |
| CARGA BRUTA DE DISEÑO   | 165.77 m                   |
| POTENCIA TOTAL INSTALABLE                                       | 750 MW                     |
| FACTOR DE PLANTA  | 0.19                       |
| GENERACIÓN MEDIA ANUAL FIRME                                    | 943 GWh                    |
| GENERACIÓN MEDIA ANUAL SECUNDARIA                               | 267 GWh                    |
| GENERACIÓN MEDIA ANUAL TOTAL DEL PROYECTO                       | 1,210 GWh                  |
| INCREMENTO DE ENERGÍA FIRME EN LA C.H. EL CAJÓN                 |                            |
| ATRIBUIBLE AL P.H. LA YESCA                                     | 121 GWh                    |
| INCREMENTO DE ENERGÍA FIRME EN LA C.H. AGUAMILPA                |                            |
| ATRIBUIBLE AL P.H. LA YESCA                                     | 82 GWh                     |
| INCREMENTO TOTAL DE ENERGÍA FIRME ATRIBUIBLE AL P.H. LA YESCA   | 203 GWh                    |

**Tabla I.1.- Datos generales de diseño**

### I.1.3. Planta y Perfil de la Obra de Excedencias

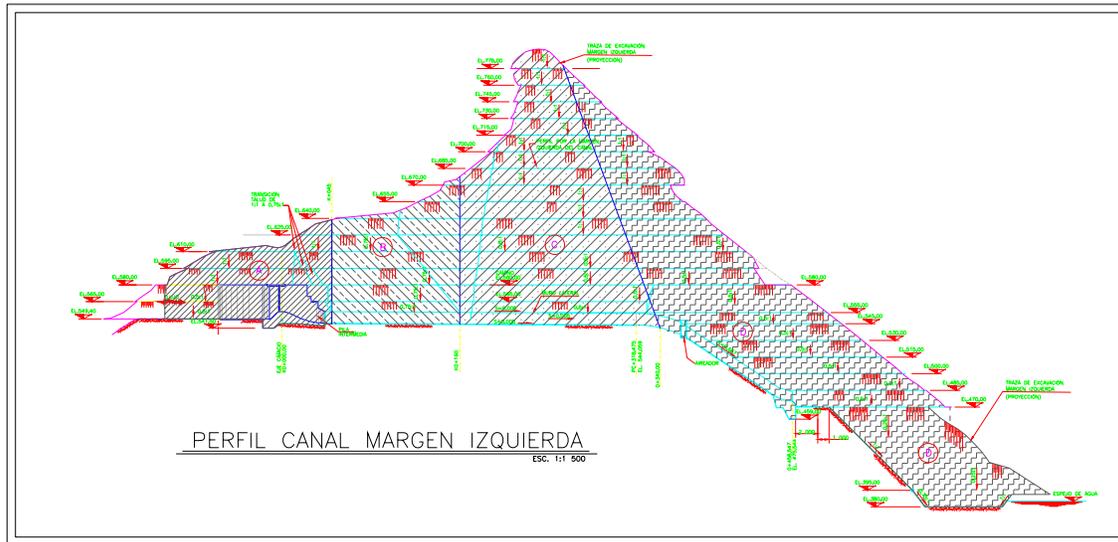
La obra de excedencias contempla el canal de llamada a la elevación 549.40 msnm, una estructura de control con seis compuertas radiales, canal de descarga y tanque amortiguador hasta la elevación 380 msnm (figura I.2.). En esta misma planta se puede observar también la plataforma para lumbrera de cierre final a la elevación 550 msnm.



**Figura I.2.- Planta de la Obra de Excedencias**

En el perfil de la obra de excedencias (figura I.3.), se observa claramente el corte de las bermas en la margen izquierda del vertedor a cada 15 m de altura, con taludes de 1:1 y con anchos de berma de seis metros, así como la excavación del canal de llamada, el cimacio en la estructura de control, el canal de descarga, la cubeta deflectora y el tanque amortiguador.

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca



**Figura I.3.- Perfil de la Obra de Excedencias**

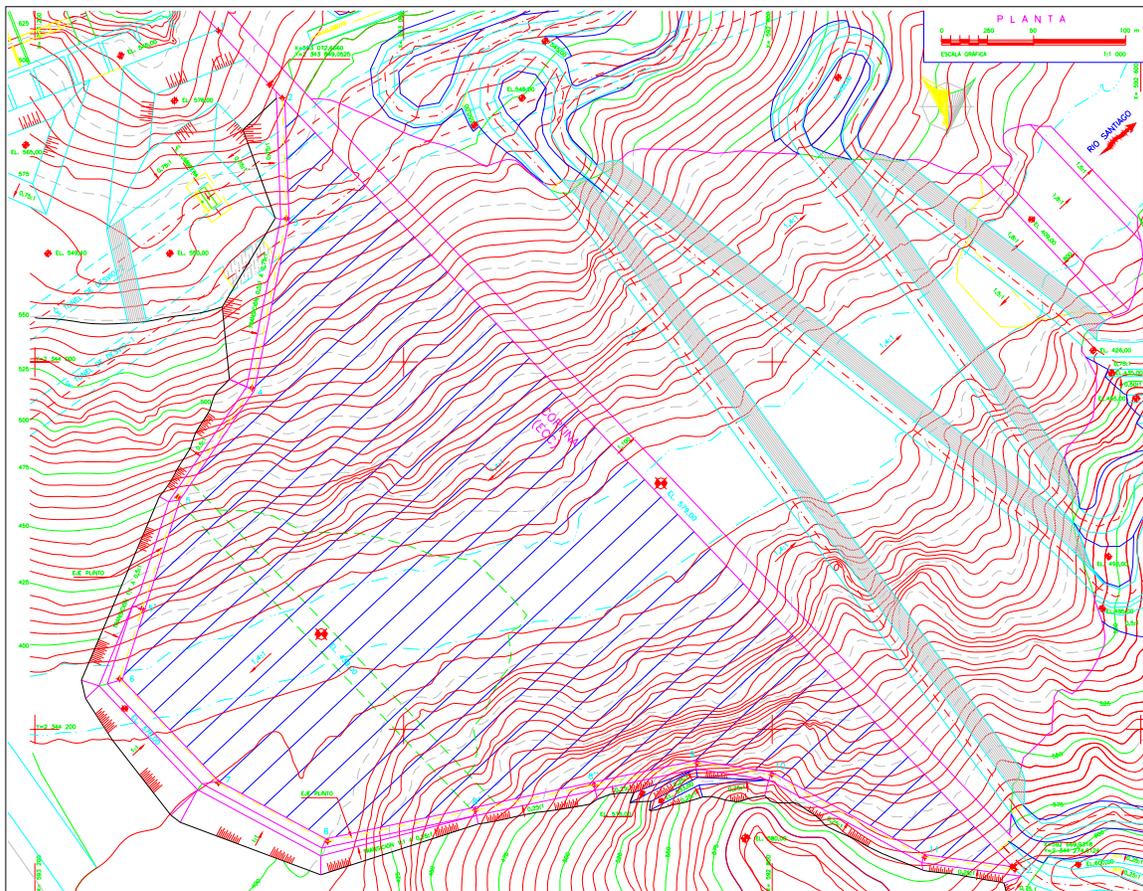
En la tabla I.2. se señalan los datos de diseño más importantes para la estructura de control, el canal de llamada y el canal de descarga de la obra de excedencias.

|  |                            |
|--|----------------------------|
| TIPO   | Controlado                 |
| GASTO MÁXIMO AVENIDA DE DISEÑO ( $T_r = 10\ 000$ AÑOS) | 15,915 m <sup>3</sup> /s   |
| PERIODO DE RETORNO                                     | 10,000 años                |
| CAPACIDAD MÁXIMA DE DESCARGA                           | 15,110 m <sup>3</sup> /s   |
| ELEVACIÓN DE CRESTA VERTEDORA                          | 556 msnm                   |
| ANCHO DE CADA VANO                                     | 12 m                       |
| LONGITUD EFECTIVA DE LA CRESTA (6 VANOS)               | 72 m                       |
| CARGA MÁXIMA SOBRE LA CRESTA                           | 22 m                       |
| GASTO UNITARIO MÁXIMO DE DESCARGA                      | 209.86 m <sup>3</sup> /s/m |
| COEFICIENTE DE DESCARGA                                | 2.08                       |
| RELACIÓN H/B DE COMPUERTAS                             | 1.87                       |
| NÚMERO DE COMPUERTAS RADIALES                          | 6                          |
| DIMENSIONES DE COMPUERTAS                              | 12.00 x 22.40 m            |
| VELOCIDAD MÁXIMA EN LA DESCARGA                        | 40 m/s                     |
| ANCHO TOTAL DEL CANAL DE DESCARGA                      | 91 m                       |

**Tabla I.2.- Datos de diseño para la obra de excedencias**

### I.1.4. Planta y Perfil de la Obra de Contención

La obra de contención del P. H. La Yesca está compuesta por una cortina de enrocamiento con cara de concreto de 220 m de altura hasta la elevación 579 msnm. Cuenta además con una pre-ataguía aguas arriba, una ataguía aguas abajo a la elevación 409 msnm y una ataguía integrada a la cortina de 52 metros de alto hasta la elevación 439 msnm (figura I.4.).



**Figura I.4.- Planta de la Obra de Contención**

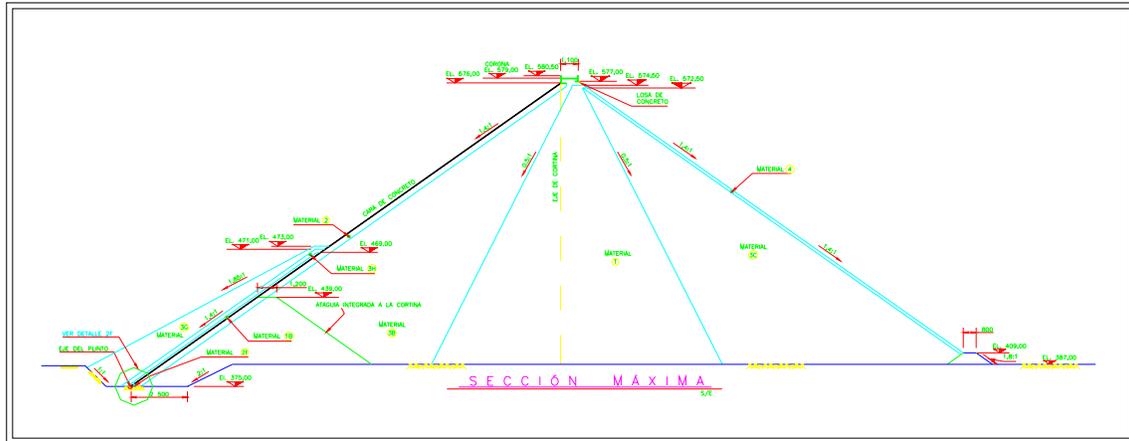
En la siguiente tabla I.3. se hace un resumen de los datos principales de la cortina en el P. H. La Yesca.

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

|                        |                                   |
|------------------------|-----------------------------------|
| TIPO                   | Enrocamiento con Cara de Concreto |
| ELEVACIÓN DEL PARAPETO | 580.50 msnm                       |
| ELEVACIÓN DE LA CORONA | 579 msnm                          |
| VOLUMEN APROXIMADO     | 12 hm <sup>3</sup>                |
| LONGITUD DE LA CORONA  | 578.23 m                          |

**Tabla I.3.- Datos de diseño para la obra de contención**

La figura 1.5. y la tabla I.4. muestran la colocación, la descripción y el tipo de materiales de relleno a utilizar tanto en la ataguía integrada como en la cortina del proyecto.



**Figura I.5.- Perfil de la Obra de Contención**

| MATERIAL | DESCRIPCIÓN                  |
|----------|------------------------------|
| 1B       | SOBRE CARA DE CONCRETO       |
| 2F       | FILTRO BAJO JUNTA PERIMETRAL |
| 2        | SOPORTE DE LOSA              |
| 3G       | PROTECCIÓN DE MATERIAL 3H    |
| 3B       | ALUVIÓN                      |
| T        | TRANSICIÓN                   |
| 3C       | RESPALDO DE AGUAS ABAJO      |
| 3H       | PROTECCIÓN DE MATERIAL 1B    |
| 4        | ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN   |
| F        | FILTRO SOBRE ZONA DE DIQUE   |

**Tabla I.4.- Materiales de relleno para la obra de contención**

## II. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE EXCEDENCIAS

*El presente capítulo servirá para dar una descripción detallada de los volúmenes, rendimientos y la secuencia de trabajos a realizarse en la obra de excedencias del P. H. La Yesca. Estos trabajos abarcan las excavaciones tanto en el canal de llamada, la estructura de control, la zona de bermas hasta la elevación 625 msnm, la plataforma para lumbrera de cierre final, el canal de descarga y el tanque amortiguador, así como los concretos y montajes respectivos.*

### II.1. Generalidades

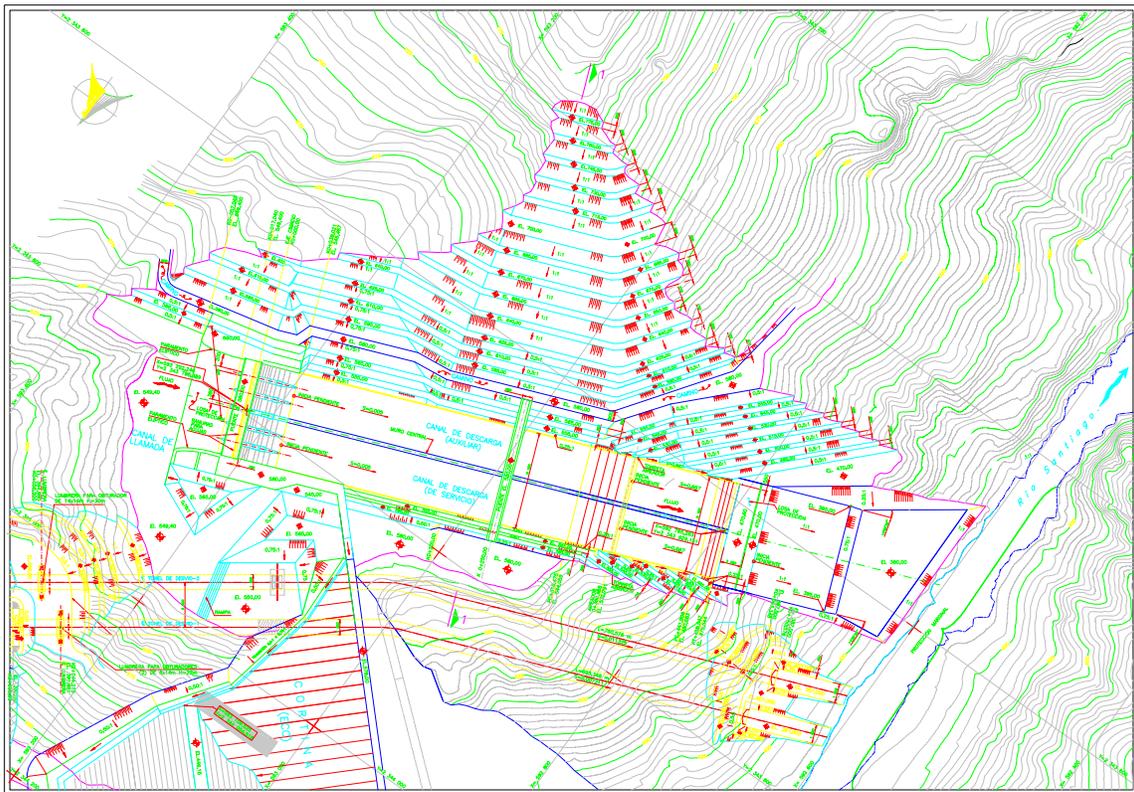
En un principio se diseñó una obra de excedencias de canal a cielo abierto consistente en canal de llamada, estructura de control y canal de descarga. Este vertedor contemplaba, entre otras cosas, bermas predominantemente a cada 25 m, cubeta deflectora y un espejo de agua a la elevación 470 msnm. Después de que los estudios geológicos revelaran con más exactitud la geología del sitio, se tomó la decisión de cambiar este último vertedor por uno girado 14 grados, con diseño de bermas

## Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

básicamente a cada 15 m, con cubeta deflectora y un tanque amortiguador hasta la elevación 380 msnm.

Este último vertedor, con ciertas modificaciones principalmente en el área de excavación de las bermas, quedó entonces como el diseño definitivo para la Obra de Excedencias del P. H. La Yesca. Posteriormente, habiendo definido esta estructura, se procedió a hacer el cálculo del volumen total de excavación, el cual resultó de 10'361,915 m<sup>3</sup>.

El frente de la Obra de Excedencias se encuentra localizado en la margen izquierda del proyecto y comprenderá básicamente: bermas, plataforma para lumbrera de cierre final, canal de llamada del vertedor, estructura de control, canal de descarga y tanque amortiguador (figura II.1.).



**Figura II.1.- Obra de Excedencias**

## **II.2. Secuencia de Excavación**

El inicio del embalse del P. H. La Yesca se tiene planeado con el cierre provisional de los túneles de desvío el primero de junio del 2011. A esta fecha los concretos y montajes en el canal de llamada y la estructura de control deberán estar terminados para evitar riesgos durante el llenado de la presa; a su vez, para comenzar estos colados, se requiere que las excavaciones respectivas estén terminadas por completo; sabiendo esto, es que se ha decidido darle prioridad a las excavaciones en estas dos estructuras.

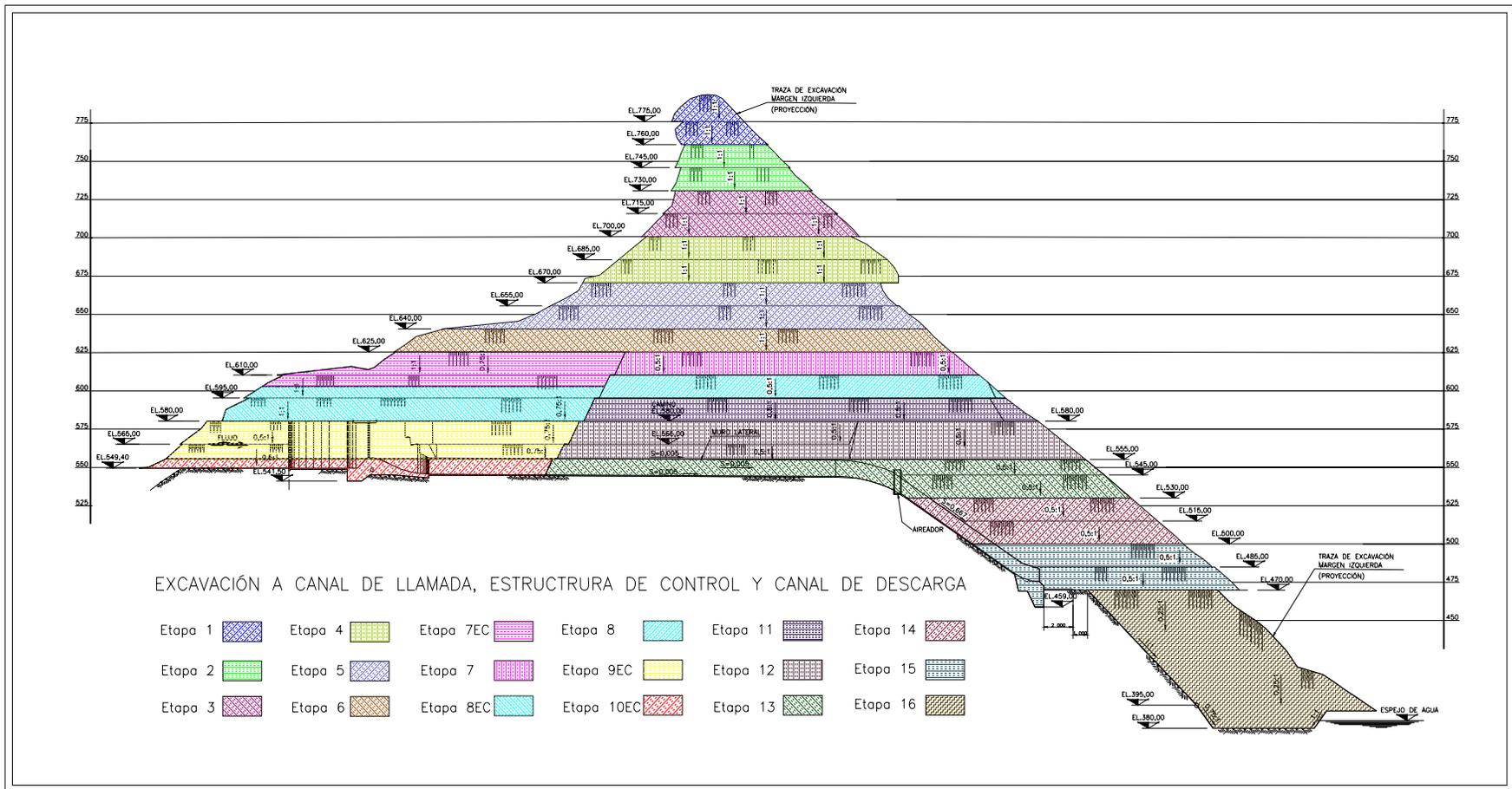
Para lograr cumplir con los tiempos de término dados por la Comisión, se ha planeado que los colados en la estructura de control y el canal de llamada, que por su procedimiento de construcción conllevan un proceso largo (el cual se detallará más adelante en la sección II.3), sean realizados en poco menos de dos años, dejando como fecha límite para el fin de las excavaciones en estas estructuras el 25 de julio del 2009. Por otro lado, el comienzo de estas excavaciones, debido al gran volumen de material a excavar, se tiene considerado junto con el inicio de los trabajos en la obra de desvío; como ya se ha mencionado, el material de buena calidad producto de estas excavaciones será utilizado en la obra de contención la cual, por el desvío del río, comenzará su construcción aproximadamente 1 año después del arranque del proyecto.

Apoyados en la información geológica proporcionada por la Comisión, se determinó que el material arriba de la cota 625 msnm (C. F. E., 2006), en la misma margen del vertedor, es material de muy mala calidad que no podrá ser utilizado en la obra de contención. Teniendo en cuenta lo anterior y el desfase entre estas dos estructuras, se ha contemplado que el comienzo de la secuencia de excavaciones de la obra de excedencias sea por la zona alta de la ladera, logrando con esto que la mayor parte del material extraído durante el primer año sea el material de desperdicio y evitando así el almacenamiento de enrocamiento al máximo.

La secuencia de excavación en la obra de excedencias está planeada desarrollarse en 16 etapas o banqueos (figura II.2.), los cuales empezarán con el despalme en la parte alta de la ladera y llegarán hasta el canal de llamada, la estructura de control, el canal de descarga y el tanque amortiguador. En los primeros seis banqueos, hasta la elevación 625 msnm, se excavará todo el primer año básicamente material que no podrá ser utilizado en la cortina, obligando con esto a encontrar zonas específicas donde colocar el volumen de material de desperdicio. Simultáneamente al comienzo de estas seis etapas se excavará la plataforma para lumbrera de cierre final, localizada sobre la misma margen, aguas arriba del eje de la cortina a la elevación 550 msnm, la cual tendrá una duración aproximada de dos meses. Al final de la etapa seis, elevación 625 msnm, se separarán dos frentes principales de trabajo: uno dirigido al canal de llamada y estructura de control y otro con dirección al canal de descarga. Al primero de estos dos frentes principales de trabajo se le asignarán, para las siguientes dos etapas, 3 frentes de excavación (estos frentes se definirán más adelante en la sección 6 de este mismo capítulo); al segundo, en estas mismas dos etapas, solo 2 frentes, logrando con esto un mayor avance en dirección al canal de llamada. Posteriormente, para la etapa nueve y diez se suspenderán actividades en el canal de descarga, disponiendo así, los 5 frentes de excavación en la zona de estructura de control (EC), con el fin de terminar las excavaciones a tiempo para el inicio de los concretos en esta estructura. Habiendo terminado de excavar el canal de llamada y la estructura de control los 5 frentes trabajarán en una etapa once en el canal de descarga y así seguirán hasta el final de la etapa trece, después de la cual y hasta el final de las excavaciones en la etapa dieciséis, solo se trabajará con 3 frentes por la disminución del área de trabajo.

Las 16 etapas de excavación en el vertedor se planearon considerando el ancho de las bermas, la inclinación y altura de los taludes, así como los tratamientos requeridos para su estabilización; el mismo material excavado ayudará a construir las rampas para retirar la roca producto de voladura. Para excavar el canal de llamada y la estructura de control se dejaron unos 80 m de margen de seguridad para no dañar los concretos mientras se continúa excavando el canal de descarga. Además de esto como medida de seguridad, la diferencia de elevaciones máxima dejada entre los dos frentes principales de trabajo no fue de más de 50 m, con taludes de 0.5:1 (figura II.2.).

## Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca



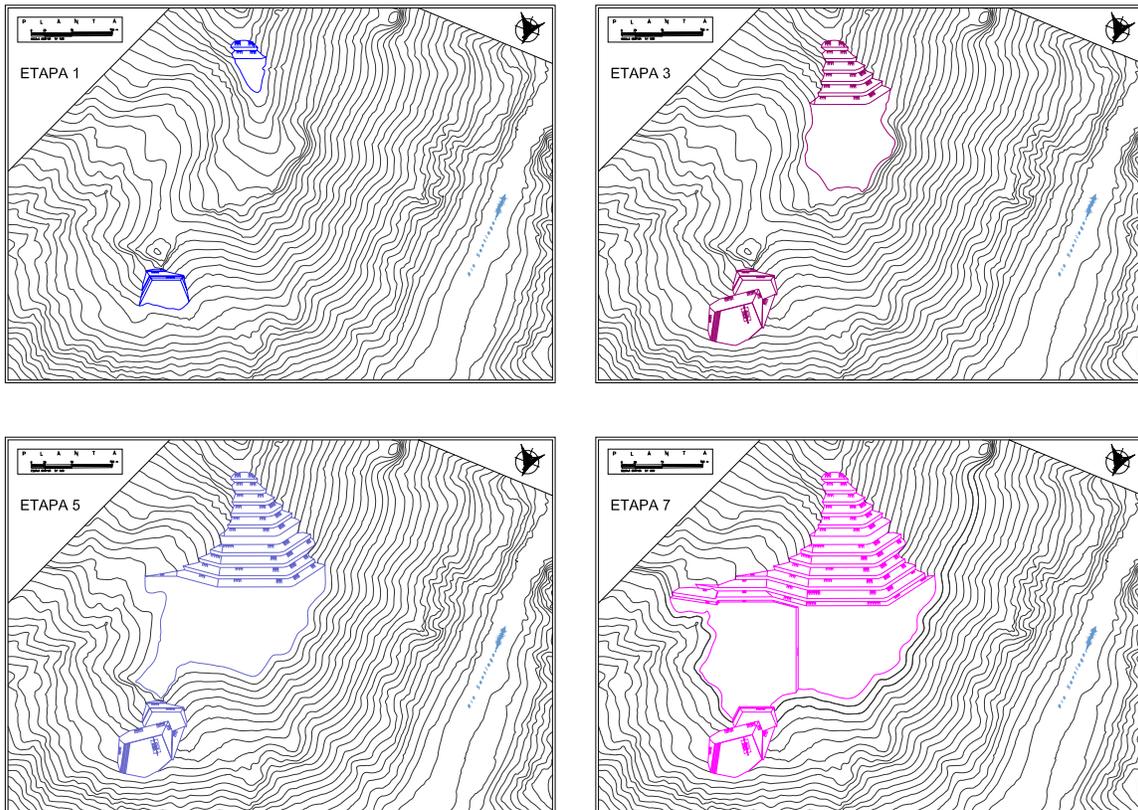
**Figura II.2.- Perfil de las etapas de excavación de la obra de excedencias**

La mayoría de las etapas, como se puede observar en la figura II.2., tiene una altura de 30 m, correspondiendo esto a la distancia entre cada 2 bermas. Algunas han sido divididas con el fin de identificar los avances entre el canal de llamada y el canal de salida.

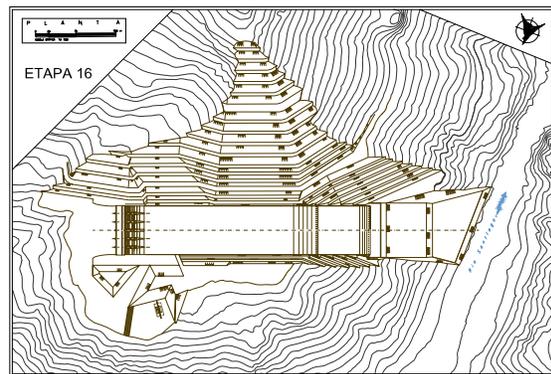
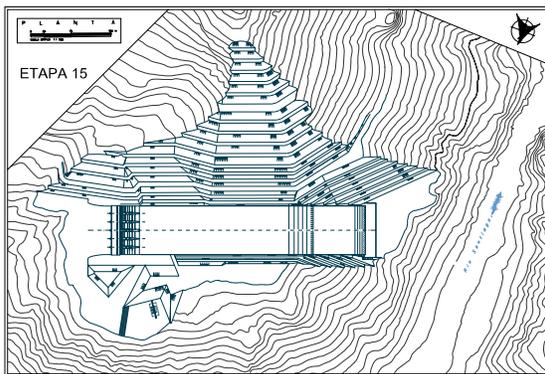
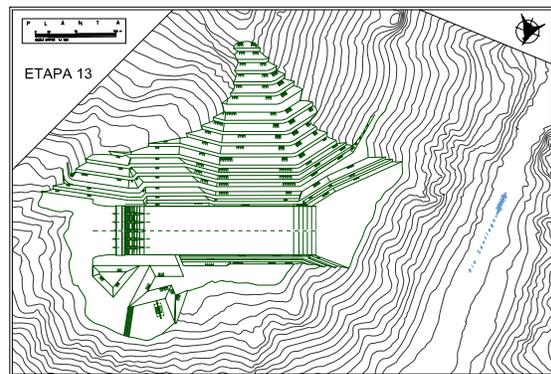
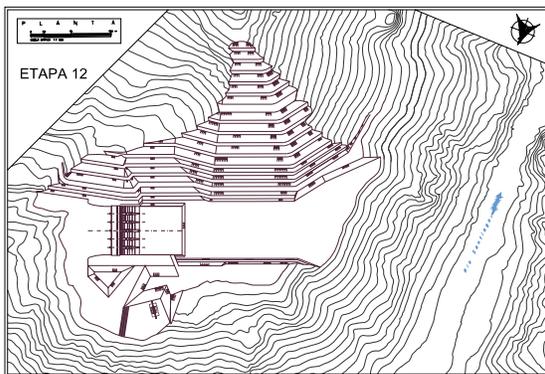
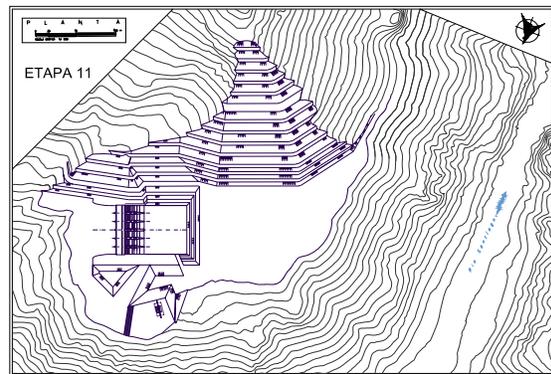
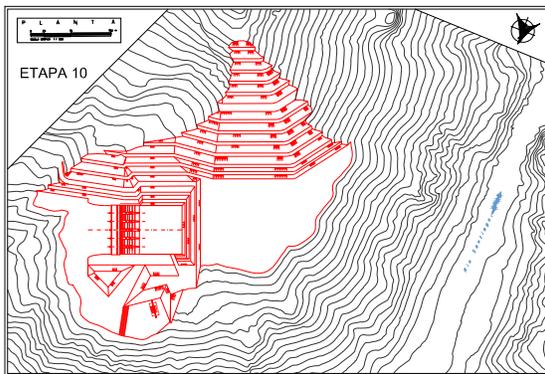
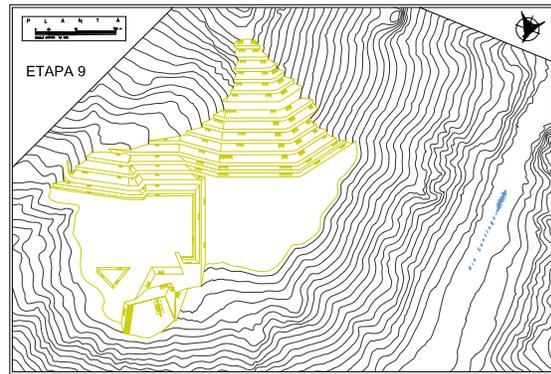
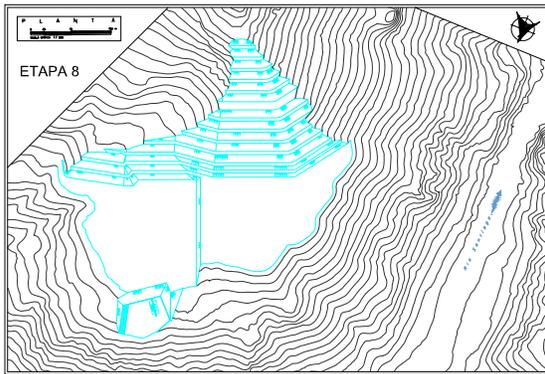
En los esquemas de la figura II.3. se puede observar la secuencia de excavaciones a seguir en la obra de excedencias. De las dieciséis etapas propuestas se presentan las doce más descriptivas con el fin de tener una visión en planta más clara de los banqueros que conforman la construcción del vertedor. En estos esquemas se puede observar fácilmente la plataforma para lumbreira de cierre final, la cual no se distinguía fácilmente en el perfil anterior.

Los colores utilizados en cada esquema tienen referencia con el número y el color de la etapa correspondiente en la figura II.2.

**Figura II.3.- Plantas esquemáticas de las etapas de excavación de la Obra de Excedencias**



# Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca



### **II.2.1. Duración de las Excavaciones**

Como se señaló anteriormente el frente de la obra de excedencias se divide en cinco secciones: bermas hasta la elevación 625 msnm, plataforma para lumbrera de cierre final, canal de llamada y estructura de control, canal de descarga y tanque amortiguador. La excavación de cada una de estas secciones obedece a la duración y al número de etapas que en ella se han considerado. Cada etapa a su vez depende del respectivo volumen calculado de roca y el número de frentes asignados en cada una de ellas.

Las excavaciones en la obra de excedencias arrancarán aproximadamente quince días antes del comienzo de los trabajos en la obra de desvío, el primero de enero del 2008, dejando tres meses, después del inicio del proyecto, para las actividades previas como lo serán las movilizaciones y la construcción de caminos de acceso y de construcción a los diferentes frentes.

Estas excavaciones se analizarán a detalle en las tablas II.1., y tendrán una duración total de 30 meses, terminando el 10 de junio del 2010 con el tanque amortiguador. Sin embargo ya meses antes se habrán iniciado los concretos tanto en estructura de control como en canal de descarga.

El análisis para determinar el tipo, el número y el rendimiento de los quipos a utilizar se definirá posteriormente en la sección 4 de este capítulo: Recursos; y los rendimientos obtenidos para un frente de excavación así como para un frente de despalme se definirán posteriormente en la sección 6 de este mismo capítulo: Análisis de la Producción.

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

A continuación, en las tablas II.1.1., II.1.2., II.1.3., II.1.4. y II.1.5., se presentan las respectivas cinco secciones divididas en diferentes etapas. Para cada etapa se calcularon los volúmenes a excavar de material en roca y despalme, se propusieron número de frentes de barrenación necesarios para lograr las producciones mensuales programadas, se obtuvo el rendimiento por etapa, y con éste se calcularon las duraciones en días efectivos de cada una de ellas; la duración del despalme se adicionó solo en la primera etapa de excavación en roca debido a que no se pueden empezar las excavaciones hasta que no se haya despalmado la superficie correspondiente y a que durante la excavación de esta etapa se podrá realizar el despalme de la segunda etapa, y así seguir sucesivamente. Posteriormente estas duraciones se multiplicaron por un factor, tomando en cuenta los días efectivos por mes, y se encontraron los días calendario por etapa.

**Excavación de Bermas Hasta la Elev. 625**

| Etapa   | Hasta     | Volumen Total por Etapa        | Volumen por Etapa sin Despалme | Despалme por Etapa           | No. de Frentes Despалme | Despалme          | No. de Frentes Barrenación | Excavación en Roca | Duración Total por Etapa (días efec.) | Inicio     | Fin        | Días calend.       | Rendimiento Despалme=       | Rendimiento Excavación=   |
|---------|-----------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|------------|------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------|
|         |           |                                |                                |                              |                         |                   |                            |                    |                                       |            |            |                    | 2386.91 m <sup>3</sup> /día | 3,600 m <sup>3</sup> /día |
| Etapa 1 | Elev. 760 | 40,068 m <sup>3</sup>          | 33,389 m <sup>3</sup>          | 6,679 m <sup>3</sup>         | 2                       | 1.40 días         | 1                          | 9.27 días          | 10.67 días                            | 01/01/2008 | 15/01/2008 | 14.04 días         |                             |                           |
| Etapa 2 | Elev. 730 | 128,047 m <sup>3</sup>         | 106,703 m <sup>3</sup>         | 21,345 m <sup>3</sup>        | 2                       | 4.47 días         | 2                          | 14.82 días         | 14.82 días                            | 15/01/2008 | 03/02/2008 | 19.50 días         |                             |                           |
| Etapa 3 | Elev. 700 | 338,296 m <sup>3</sup>         | 298,470 m <sup>3</sup>         | 39,826 m <sup>3</sup>        | 2                       | 8.34 días         | 3                          | 27.64 días         | 27.64 días                            | 03/02/2008 | 10/03/2008 | 36.36 días         |                             |                           |
| Etapa 4 | Elev. 670 | 679,949 m <sup>3</sup>         | 625,938 m <sup>3</sup>         | 54,011 m <sup>3</sup>        | 2                       | 11.31 días        | 4                          | 43.47 días         | 43.47 días                            | 10/03/2008 | 07/05/2008 | 57.19 días         |                             |                           |
| Etapa 5 | Elev. 640 | 1,048,511 m <sup>3</sup>       | 995,214 m <sup>3</sup>         | 53,296 m <sup>3</sup>        | 2                       | 11.16 días        | 4                          | 69.11 días         | 69.11 días                            | 07/05/2008 | 06/08/2008 | 90.94 días         |                             |                           |
| Etapa 6 | Elev. 625 | 726,635 m <sup>3</sup>         | 678,468 m <sup>3</sup>         | 48,167 m <sup>3</sup>        | 2                       | 10.09 días        | 4                          | 47.12 días         | 47.12 días                            | 06/08/2008 | 07/10/2008 | 61.99 días         |                             |                           |
|         |           | <b>2,961,506 m<sup>3</sup></b> | <b>2,738,182 m<sup>3</sup></b> | <b>223,324 m<sup>3</sup></b> |                         | <b>46.78 días</b> |                            | <b>211.43 días</b> | <b>212.83 días</b>                    |            |            | <b>280.03 días</b> |                             |                           |
|         |           |                                |                                |                              |                         |                   |                            |                    |                                       |            |            |                    | Rend. Máx.:                 | 15643 m <sup>3</sup> /día |
|         |           |                                |                                |                              |                         |                   |                            |                    |                                       |            |            |                    | Rend. Promedio:             | 13915 m <sup>3</sup> /día |
|         |           |                                |                                |                              |                         |                   |                            |                    |                                       |            |            |                    | Rend. Min:                  | 3754 m <sup>3</sup> /día  |

**Tabla II.1.1.- Primera sección de excavación**

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

**Excavación de Plataforma para Lumbrera de Cierre Final**

| Etapa          | Volumen Total<br>por Etapa | Volumen por<br>Etapa sin<br>Despalme | Despalme por<br>Etapa | No. de<br>Frentes<br>Despalme | Despalme         | No. de<br>Frentes<br>Barrenación | Excavación en<br>Roca | Duración Total<br>por Etapa<br>(días efec.) | Inicio     | Fin        | Días calend.      | Rendimiento    |              |
|----------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|------------------|----------------------------------|-----------------------|---|------------|------------|-------------------|----------------|--------------|
|                |                            |                                      |                       |                               |                  |                                  |                       |   |            |            |                   | Despalme=      | Excavación=  |
|                |                            |                                      |                       |                               |                  |                                  |                       |   |            |            |                   | 2386.91 m³/día | 3,600 m³/día |
| Plat. Lumbrera | 182,517 m³                 | 174,978 m³                           | 7,539 m³              | 1                             | 3.16 días        | 1                                | 48.60 días            | 51.76 días                                  | 01/01/2008 | 09/03/2008 | 68.11 días        |                |              |
|                | <b>182,517 m³</b>          | <b>174,978 m³</b>                    | <b>7,539 m³</b>       |                               | <b>3.16 días</b> |                                  | <b>48.60 días</b>     | <b>51.76 días</b>                           |            |            | <b>68.11 días</b> |                |              |
|                |                            |                                      |                       |                               |                  |                                  |                       |   |            |            |                   | Rendimiento:   | 3526 m³/día  |

**Tabla II.1.2.- Etapa simultánea a la primera sección de excavación**

**Excavación en Canal de Llamada y Estructura de Control**

| Etapa                     | Hasta                    | Volumen Total<br>por Etapa | Volumen por<br>Etapa sin<br>Despalme | Despalme por<br>Etapa | No. de<br>Frentes<br>Despalme | Despalme          | No. de<br>Frentes<br>Barrenación | Excavación en<br>Roca | Duración Total<br>por Etapa<br>(días efec.) | Inicio     | Fin        | Días calend.       | Rendimiento     |              |
|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------------|-----------------------|---|------------|------------|--------------------|-----------------|--------------|
|                           |                          |                            |                                      |                       |                               |                   |                                  |                       |   |            |            |                    | Despalme=       | Excavación=  |
|                           |                          |                            |                                      |                       |                               |                   |                                  |                       |   |            |            |                    | 2386.91 m³/día  | 3,600 m³/día |
| Etapa 7 Estruct. Control  | Elev. 603                | 736,424 m³                 | 714,675 m³                           | 21,749 m³             | 1                             | 9.11 días         | 3                                | 66.17 días            | 66.17 días                                  | 07/10/2008 | 02/01/2009 | 87.07 días         |                 |              |
| Etapa 8 Estruct. Control  | Elev. 580                | 889,585 m³                 | 845,144 m³                           | 44,440 m³             | 1                             | 18.62 días        | 3                                | 78.25 días            | 78.25 días                                  | 02/01/2009 | 15/04/2009 | 102.97 días        |                 |              |
| Etapa 9 Estruct. Control  | Elev. 555                | 1,042,605 m³               | 999,539 m³                           | 43,065 m³             | 2                             | 9.02 días         | 5                                | 55.53 días            | 55.53 días                                  | 15/04/2009 | 27/06/2009 | 73.07 días         |                 |              |
| Etapa 10 Estruct. Control | Elev. 549.4<br>Y CIMACIO | 357,869 m³                 | 343,087 m³                           | 14,782 m³             | 2                             | 3.10 días         | 5                                | 19.06 días            | 19.06 días                                  | 27/06/2009 | 22/07/2009 | 25.08 días         |                 |              |
|                           |                          | <b>3,026,483 m³</b>        | <b>2,902,445 m³</b>                  | <b>124,037 m³</b>     |                               | <b>39.85 días</b> |                                  | <b>219.02 días</b>    | <b>219.02 días</b>                          |            |            | <b>288.18 días</b> |                 |              |
|                           |                          |                            |                                      |                       |                               |                   |                                  |                       |   |            |            |                    | Rend. Máx.:     | 18776 m³/día |
|                           |                          |                            |                                      |                       |                               |                   |                                  |                       |   |            |            |                    | Rend. Promedio: | 13818 m³/día |
|                           |                          |                            |                                      |                       |                               |                   |                                  |                       |   |            |            |                    | Rend. Min:      | 11129 m³/día |

**Tabla II.1.3.- Segunda sección de excavación**

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

**Excavación en Canal de Descarga**

|          |           | Rendimiento Despalme= 2386.91 m³/día |                                | Rendimiento Excavación= 3,600 m³/día |                         |                   |                            |                    |                                       |            |            |                    |
|----------|-----------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|------------|------------|--------------------|
| Etapa    | Hasta     | Volumen Total por Etapa              | Volumen por Etapa sin Despalme | Despalme por Etapa                   | No. de Frentes Despalme | Despalme          | No. de Frentes Barrenación | Excavación en Roca | Duración Total por Etapa (días efec.) | Inicio     | Fin        | Días calend.       |
| Etapa 7  | Elev. 610 | 443,365 m³                           | 430,271 m³                     | 13,094 m³                            | 1                       | 5.49 días         | 2                          | 59.76 días         | 65.25 días                            | 07/10/2008 | 31/12/2008 | 85.85 días         |
| Etapa 8  | Elev. 595 | 509,798 m³                           | 484,330 m³                     | 25,468 m³                            | 1                       | 10.67 días        | 2                          | 67.27 días         | 77.94 días                            | 31/12/2008 | 13/04/2009 | 102.55 días        |
| Etapa 11 | Elev. 580 | 550,324 m³                           | 522,832 m³                     | 27,492 m³                            | 2                       | 5.76 días         | 5                          | 29.05 días         | 29.05 días                            | 22/07/2009 | 29/08/2009 | 38.22 días         |
| Etapa 12 | Elev. 555 | 837,780 m³                           | 803,175 m³                     | 34,605 m³                            | 2                       | 7.25 días         | 5                          | 44.62 días         | 44.62 días                            | 29/08/2009 | 27/10/2009 | 58.71 días         |
| Etapa 13 | Elev. 530 | 560,852 m³                           | 548,546 m³                     | 12,306 m³                            | 2                       | 2.58 días         | 5                          | 30.47 días         | 30.47 días                            | 27/10/2009 | 06/12/2009 | 40.10 días         |
| Etapa 14 | Elev. 500 | 281,688 m³                           | 258,660 m³                     | 23,029 m³                            | 2                       | 4.82 días         | 3                          | 23.95 días         | 23.95 días                            | 06/12/2009 | 06/01/2010 | 31.51 días         |
| Etapa 15 | Elev. 470 | 300,712 m³                           | 281,395 m³                     | 19,317 m³                            | 2                       | 4.05 días         | 3                          | 26.06 días         | 26.06 días                            | 06/01/2010 | 10/02/2010 | 34.28 días         |
|          |           | <b>3,484,519 m³</b>                  | <b>3,329,208 m³</b>            | <b>155,311 m³</b>                    |                         | <b>40.61 días</b> |                            | <b>281.17 días</b> | <b>297.33 días</b>                    |            |            | <b>391.22 días</b> |

Rend. Máx.: 18946 m³/día  
Rend. Promedio: 11719 m³/día  
Rend. Min: 6541 m³/día

**Tabla II.1.4.- Tercera sección de excavación**

**Excavación de Tanque Amortiguador**

|          |           | Rendimiento Despalme= 2386.91 m³/día |                                | Rendimiento Excavación= 3,600 m³/día |                         |                  |                            |                    |                                       |            |            |                    |
|----------|-----------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------------------|------------|------------|--------------------|
| Etapa    | Hasta     | Volumen Total por Etapa              | Volumen por Etapa sin Despalme | Despalme por Etapa                   | No. de Frentes Despalme | Despalme         | No. de Frentes Barrenación | Excavación en Roca | Duración Total por Etapa (días efec.) | Inicio     | Fin        | Días calend.       |
| Etapa 16 | Elev. 380 | 706,891 m³                           | 661,482 m³                     | 45,409 m³                            | 2                       | 9.51 días        | 2                          | 91.87 días         | 91.87 días                            | 10/02/2010 | 10/06/2010 | 120.88 días        |
|          |           | <b>706,891 m³</b>                    | <b>661,482 m³</b>              | <b>45,409 m³</b>                     |                         | <b>9.51 días</b> |                            | <b>91.87 días</b>  | <b>91.87 días</b>                     |            |            | <b>120.88 días</b> |

Rendimiento: 7694 m³/día

**Tabla II.1.5.- Cuarta sección de excavación**

## II.2.2. Histograma de Excavación

Conociendo la duración de cada etapa, sus rendimientos y volúmenes totales de material a excavar, se obtuvo el histograma de excavación de materiales en la obra de excedencias, el cual se puede observar en la figura II.4. En esta misma figura se aprecia como de octubre del 2008 a noviembre del 2009, cuando ya se haya encontrado roca y se empiece a colocar éste en cortina, las excavaciones de material en el vertedor llegarán al máximo con el mayor número de frentes trabajando, alcanzando en estos meses un rendimiento aproximado de 450,000 m<sup>3</sup>/mes, lo que muy posiblemente genere un almacén de enrocamiento para cortina por la adición del material de buena calidad producto de las excavaciones en otras estructuras.

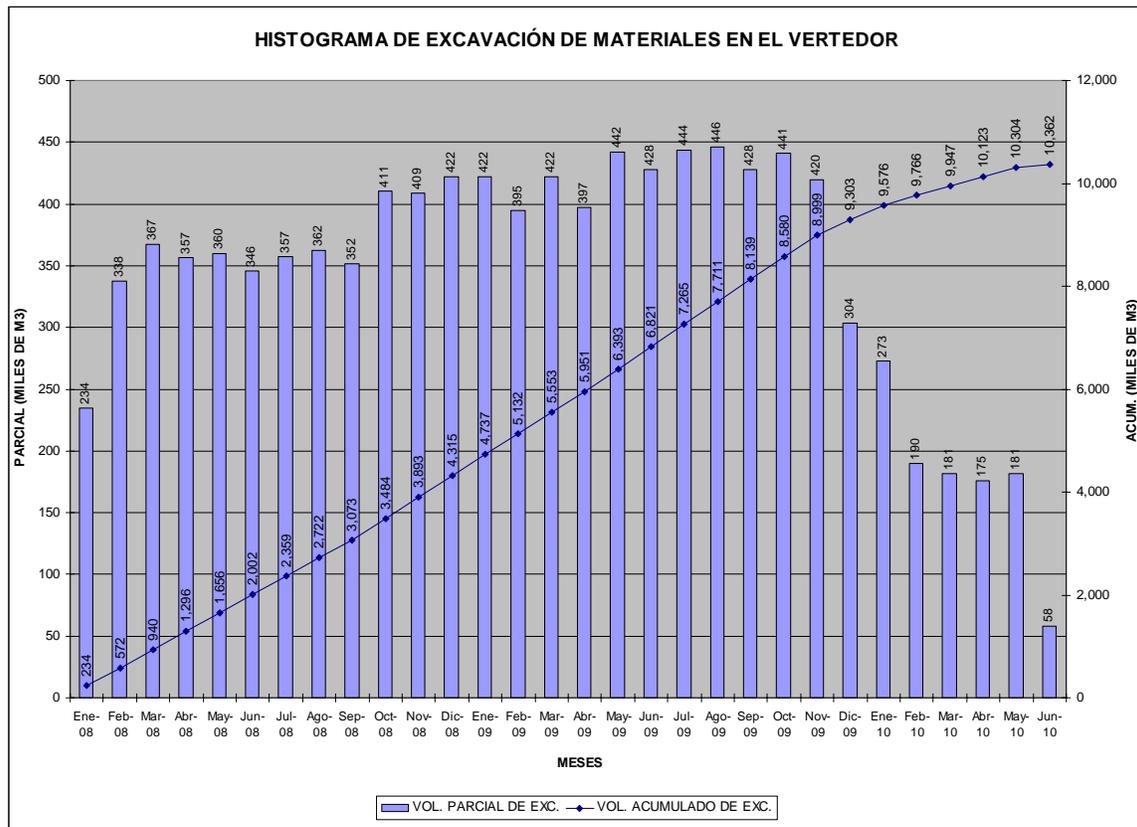


Figura II.4.- Histograma de excavación de la Obra de Excedencias

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

II.2.3. Programa de Ejecución de los Trabajos de Excavación

La figura II.5. muestra el programa de ejecución de los trabajos de excavación de la obra de excedencias. Este programa toma en cuenta los volúmenes calculados por etapa, sus rendimientos, las duraciones obtenidas en la sección uno de este mismo capítulo, así como los inicios y las actividades predecesoras de cada una de las dieciséis etapas.

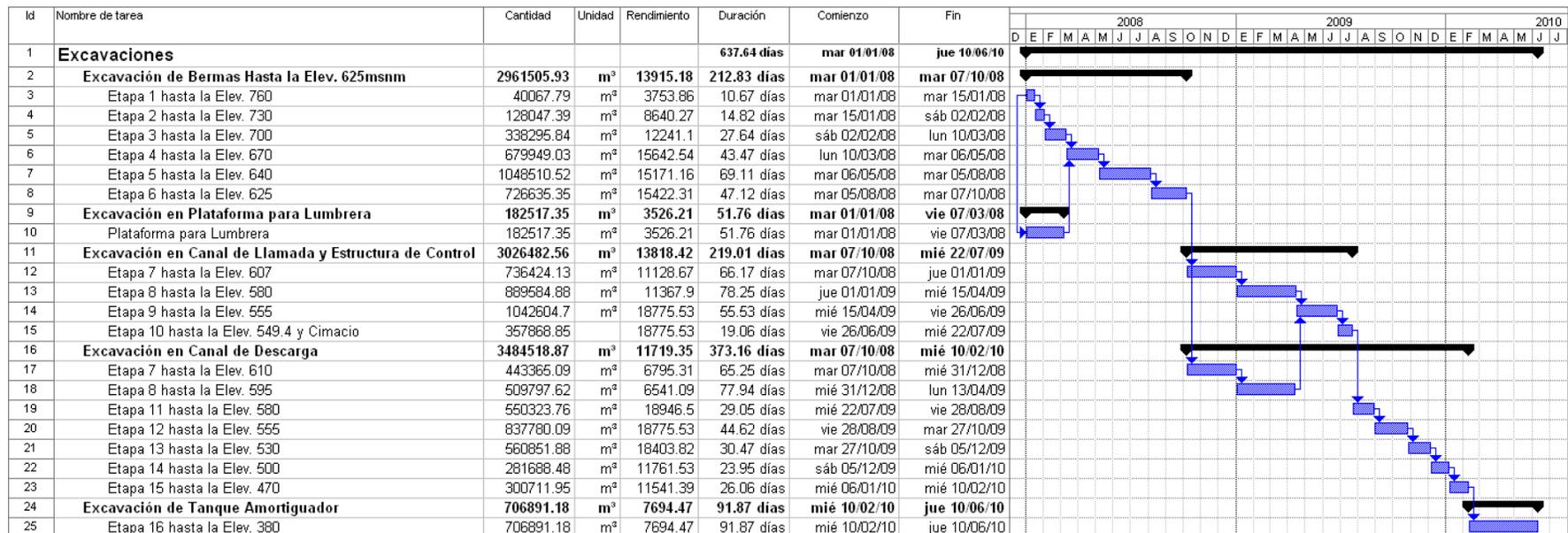


Figura II.5.- Programa de excavación de la Obra de Excedencias

## II.2.4. Recursos

El análisis que a continuación se presentará sirve para definir, tomando en cuenta los tiempos de excavación y los volúmenes de material tanto de roca como de despalme, el tipo, el número y el rendimiento de los quipos a utilizar en la excavación y remoción de materiales de la obra de excedencias del P. H. La Yesca.

Cabe señalar que las tablas anexas, que sirvieron como complemento para la elección de la mayoría de los equipos, fueron obtenidas del Manual de Rendimiento Caterpillar (octubre del 2000).

### CONSIDERACIONES GENERALES

|                                       |          |              |
|---------------------------------------|----------|--------------|
| Tiempo de ejecución:                  | 2.5 años | ( 30 meses ) |
| Días efectivos por mes:               |          | 22.8 días    |
| Horas efectivas por turno de trabajo: |          | 10 hr        |
| Turnos de trabajo por día:            |          | 2            |

Tipo de material: **Roca Fragmentada - Tierra vegetal**

|                            |                           |
|----------------------------|---------------------------|
| Volumen de Roca=           | 9,806,295 m <sup>3</sup>  |
| Volumen de Tierra Vegetal= | 555,620 m <sup>3</sup>    |
| Volumen Total=             | 10,361,915 m <sup>3</sup> |

Se considera 94% de Roca y 6% de Tierra Vegetal, por lo que en función de la tabla 28-4 del Manual Caterpillar, se tiene lo siguiente:

|                             | Roca  |      | Tierra Vegetal                                   |      |
|-----------------------------|---|------|--|------|
| Densidad de Material Suelto | 1750 Kg/m <sup>3</sup>                            |      | 950 Kg/m <sup>3</sup>                            |      |
| Densidad de Material Banco  | 2610 Kg/m <sup>3</sup>                            |      | 1370 Kg/m <sup>3</sup>                           |      |
| Factor de Abundamiento=     | $\frac{2610 \text{ Kg/m}^3}{1750 \text{ Kg/m}^3}$ | =    | $\frac{1370 \text{ Kg/m}^3}{950 \text{ Kg/m}^3}$ | =    |
|                             |   | 1.49 |  | 1.44 |

# Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

## SELECCIÓN DEL EQUIPO

### DESPALME

#### Equipo Propuesto para Remoción de Tierra Vegetal

##### **Tractor sobre orugas CAT D8R**

Considerando un empuje de 20 m, se propone un **Tractor sobre orugas CAT D8R**

De la Gráfica 1-43 M. Caterpillar (anexa) se obtiene la producción teórica: 800 m<sup>3</sup>/hr

Factores de corrección según las condiciones de trabajo, tabla 1-45 M. Caterpillar (anexa)

|  |                                |
|--|--------------------------------|
| Operador (Bueno)                       | 0.750                          |
| Material (Tierra Vegetal)              | 0.900                          |
| Visibilidad                            | 0.800                          |
| Eficiencia del trabajo (50min/hora)    | 0.830                          |
| Corrección de densidad                 | 0.693                          |
| Otros factores                         | 0.800                          |
| <b>Producción de Material en Banco</b> | <b>198.91 m<sup>3</sup>/hr</b> |
| <b>Producción de Material Suelto</b>   | <b>286.85 m<sup>3</sup>/hr</b> |

### EXCAVACIÓN

#### Equipo Propuesto para Barrenación Vertical

##### **Perforadora sobre orugas Ranger 600 (Hidrotrack)**

Rendimiento teórico: 1 m/min

Por hora 60 m/hr

Factores de corrección según las condiciones de trabajo

|   |         |
|---|---------|
| Operador  | 0.750   |
| Eficiencia del trabajo (50min/hora)                 | 0.830   |
| Producción de barrenación x Factores de corrección= | 37 m/hr |

Para un banco de 6.4 m de largo x 4.0 m de ancho x 5.0 m de profundidad se requiere:

|                            |           |                |
|----------------------------|-----------|----------------|
| Desplazamiento (1vez)=     | 0.117 hr= | <u>-7 m/hr</u> |
| Producción de Barrenación= |           | <b>30 m/hr</b> |

## Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

### Equipo Propuesto para la Carga

#### **Cargador Frontal sobre llantas CAT 992**

Producción requerida: **600 m<sup>3</sup>/hr**

Factores de llenado del cucharón, tabla 13-46 M. Caterpillar (anexa)

|  |                        |      |                                 |
|--|------------------------|------|---------------------------------|
| Tiempo básico                          | 0.60 min               |      |                                 |
| Banco o fracturado                     | 0.04 min               |      |                                 |
| Apilado por topadora                   | 0.00 min               |      |                                 |
| Mismo propietario                      | -0.04 min              |      |                                 |
| Operación intermitente                 | 0.04 min               |      |                                 |
| <b>Tiempo Total del Ciclo</b>          | <b>0.64 min</b>        |      |                                 |
| <br>                                   |                        |      |                                 |
| Ciclos por hora al 100% de eficiencia= | 60.00 min              | =    | 93.75 ciclos/hr                 |
|  | 0.64 min               |      |                                 |
| <br>                                   |                        |      |                                 |
| Ciclos por hora al 83% de eficiencia=  | 93.75 ciclos/hr        | *    | 77.81 ciclos/hr                 |
|  |                        | 0.83 | =                               |
| <br>                                   |                        |      |                                 |
| Carga útil requerida por ciclo=        | 600 m <sup>3</sup> /hr | =    | <b>7.71 m<sup>3</sup>/ciclo</b> |
|  | 77.81 ciclos/hr        |      |                                 |

### Elección del Cucharón

De la tabla 13-47 M. Caterpillar (anexa) se obtiene el factor de llenado del cucharón en función del tipo de materiales a utilizar:

Por ser roca de voladura de fragmentación mediana el factor es: **0.85 %**

En función del nomograma de producción y selección de máquinas (Gráfica 13-49) se obtiene que el cucharón requerido es de:

**11.50 m<sup>3</sup>**

En función de la densidad del material y la gráfica por la capacidad del cucharón (Gráfica 13-54) se obtiene que el cargador para este tipo de material es:

Cargador Frontal sobre ruedas CAT 992

En función del nomograma de producción y selección de máquinas (Gráfica 13-50) para una densidad de material optima, se obtiene una producción de toneladas por hora de:

**1175 Ton/hr**

Por lo que: **1175 Ton/hr / 1.96 Ton/m<sup>3</sup> = 600 m<sup>3</sup>/hr**

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

**Equipo Propuesto para el Transporte**

|   |                           |                            |
|---|---------------------------|----------------------------|
| <b>Camión Fuera de Carretera CAT 775:</b>   | <b>41.5 m<sup>3</sup></b> |                            |
| Tiempo total del ciclo del cargador =   |                           | 0.64 min                   |
| Ciclos del cargador por hora al 83% de eficiencia (50min/hora) =                                    |                           | 77.81 ciclos/hr            |
| Carga útil requerida por ciclo =  |                           | 7.71 m <sup>3</sup> /ciclo |
| Producción por hora =   |                           | 600 m <sup>3</sup> /hr     |
| Capacidad del camión =  |                           | 41.5 m <sup>3</sup>        |
| Número de ciclos para llenar un camión: $\frac{41.50 \text{ m}^3}{7.71 \text{ m}^3/\text{ciclo}} =$ |                           | 5.38 ciclos                |
| Se considerarán:  |                           | 5 ciclos                   |

**Ciclo del Camión**

|   |                    |                   |
|---|--------------------|-------------------|
| Velocidad cargado:  | 10 Km/hr           |                   |
| Velocidad descargado:   | 15 Km/hr           |                   |
| Distancia:  | 1.5 Km             |                   |
| Tiempo de tránsito cargado= $\frac{1.5 \text{ Km}}{10 \text{ Km/hr}} =$   | 0.150 hr x 60 min= | 9.00 min          |
| Tiempo de tránsito descargado= $\frac{1.5 \text{ Km}}{15 \text{ Km/hr}} =$  | 0.100 hr x 60 min= | 6.00 min          |
| Tiempo de llenado del camión= $\frac{5 \text{ ciclos} \times 0.64 \text{ min}}{0.83} =$                             |                    | 3.86 min          |
| Tiempo de acomodo=  |                    | 2.00 min          |
| Tiempo de descarga=   |                    | 2.00 min          |
| Tiempo de espera=   |                    | 3.00 min          |
| Tiempo total del ciclo=   |                    | 25.86 min         |
| Ciclos por hora camión = $\frac{60 \text{ min}}{25.86 \text{ min}} =$   |                    | 2.32 Ciclos/hr    |
| Número de Camiones Requeridos: $\frac{600 \text{ m}^3/\text{hr}}{2.32 \text{ Ciclos/hr} \times 41.5 \text{ m}^3} =$ |                    | 6.23 Camiones     |
| Se requieren:   |                    | <b>7 Camiones</b> |

## II.2.5. Desarrollo del Cálculo del Rendimiento de Excavación en Roca por Voladura

Basándose en el método sueco de voladura para bancos de roca (Rune Gustafsson, enero 1977), se tienen que los datos y fórmulas a ocupar son las siguientes:

Datos:

|                          |             |   |      |   |         |
|--------------------------|-------------|---|------|---|---------|
| Diámetro de barrenación: | $\emptyset$ | = | 3"   | = | 0.076 m |
| Altura de banco:         | K           | = | 5 m  |   |         |
| Longitud de banco:       | B           | = | 45 m |   |         |

Fórmulas Utilizadas:

|                          |    |   |                     |   |                |
|--------------------------|----|---|---------------------|---|----------------|
| Bordo máximo (Piedra):   | B  | = | 45 $\emptyset$      |   |                |
| Espaciamento:            | E  | = | 1.25 B              |   |                |
| Sobreperforación:        | U  | = | 0.3 B               |   |                |
| Profundidad del taladro: | H  | = | K + U + 0.05(K + U) |   |                |
| Bordo práctico:          | Bp | = | B - F ; y           | F | = 0.05 + 0.03H |
| Espaciamento práctico:   | Ep | = | 1.25 Bp             |   |                |

Rendimiento de Barrenación (m-bno/m<sup>3</sup>):

$$R\text{-bno} = \frac{H}{B_p \times E_p \times K}$$

En la figura II.6 se ejemplifica la geometría tipo de una plantilla de barrenación, en ella se pueden observar claramente el bordo (B) y el espaciamento (E), con los cuales se obtienen los datos prácticos (p) respectivos y se hacen los cálculos correspondientes.

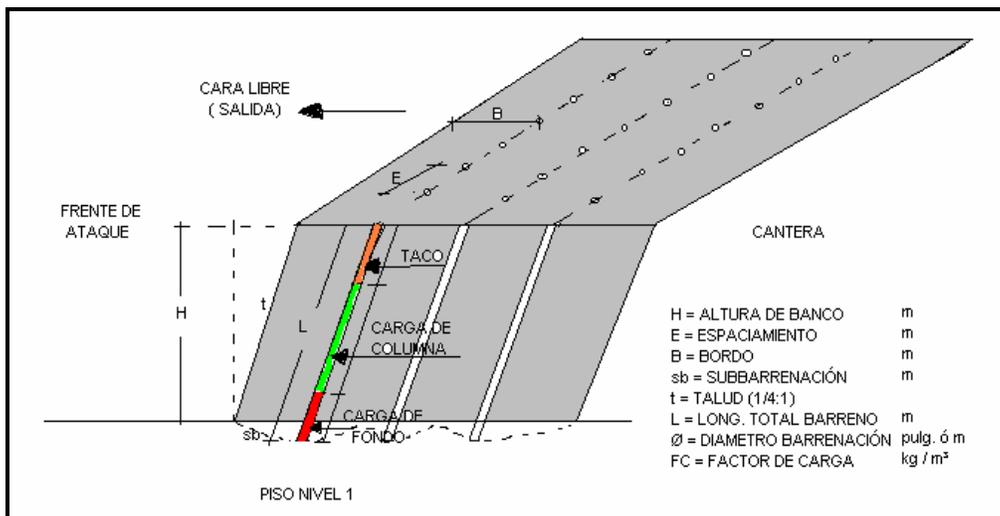


Figura II.6.- Geometría tipo de una plantilla de barrenación

## Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

Utilizando las variables antes mencionadas, a continuación se presenta el análisis para determinar los rendimientos de excavación por voladura, para posteriormente con estos y el ciclo entero de la voladura obtener el rendimiento diario de un frente de barrenación.

Cálculo:

|              |          |                              |
|--------------|----------|------------------------------|
| B            | =        | 3.43 m                       |
| E            | =        | 4.29 m                       |
| U            | =        | 1.03 m                       |
| H            | =        | 6.33 m                       |
| F            | =        | 0.240 m                      |
| Bp           | =        | 3.2 m                        |
| Ep           | =        | 4.0 m                        |
| <b>R-bno</b> | <b>=</b> | <b>0.100 m/m<sup>3</sup></b> |

Con estas fórmulas se obtiene que el volumen de voladura por barreno sería de:

$$3.2 \text{ m} \quad \times \quad 4.0 \text{ m} \quad \times \quad 5.0 \text{ m} \quad = \quad 64 \text{ m}^3$$

Por otro lado, para un banco de 45 m de largo x 8 m ancho x 5 m de profundidad, se obtendrían:

$$45.0 \text{ m} \quad \times \quad 8.0 \text{ m} \quad \times \quad 5.0 \text{ m} \quad = \quad 1800 \text{ m}^3$$

Por lo tanto: 
$$\frac{1800 \text{ m}^3}{64 \text{ m}^3/\text{barreno}} = \quad \mathbf{28 \text{ barrenos}}$$

Además, para un banco de 28 barrenos se tiene que:

$$28 \text{ Bno} \quad \times \quad 6.33 \text{ m} \quad = \quad 179.3 \text{ m/banco}$$

### CÁLCULO DEL RENDIMIENTO DE EXCAVACIÓN POR VOLADURA

Se considera la utilización de equipos de barrenación tipo Ranger 600 de Tamrock (Hidrotrack) con rendimiento de 30 m lineales de barrenación por hora efectiva, incluyendo operador, y un desplazamiento.

$$\text{Rendimiento del equipo} = \quad 30 \text{ m/hr}$$

$$\text{Producción por hora} = \frac{\text{Rendimiento del equipo}}{\text{R-bno}}$$

$$\text{Producción por hora} = \quad 300 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Entonces, el rendimiento de un hidrotrack por hora efectiva de trabajo es: **300 m<sup>3</sup>/hr**

## II.2.6. Análisis de la Producción

En esta sección se definirán los rendimientos tanto de un frente de barrenación como de uno de despalme. Con estos se decidieron el número de frentes requeridos para cada una de las etapas de excavación antes mostradas en el capítulo: Duración de las Excavaciones.

Para obtener el rendimiento del frente de barrenación, como ya se mencionó anteriormente, se debe analizar primero con el dato del rendimiento de excavación el ciclo de la voladura para un banco de roca, el cual se muestra a continuación:

### Ciclo de la Voladura

|  |                     |   |                        |   |                    |
|--|---------------------|---|------------------------|---|--------------------|
|  |                     |   |                        |   | Duración<br>( hr ) |
| Instalación de equipo:                   |                     |   |                        |   | 1.5                |
| Barrenación para un banco de 45 x 8 x 5: | 1800 m <sup>3</sup> | / | 300 m <sup>3</sup> /hr | = | <b>6.0</b>         |
| Carga y Desalojo:                        |                     |   |                        |   | 1.5                |
| Interferencias:                          |                     |   |                        |   | 1.0                |
|  |                     |   |                        |   | <hr/>              |
|  |                     |   |                        |   | <b>10.0</b>        |

Los 28 barrenos necesarios pueden realizarse con un mismo Hidrotrack, excavando 14 barrenos en línea recta y barrenando otros 14 de regreso a manera de tres bolillo, ya que:

$$\text{Se requieren: } \frac{179.3 \text{ m/banco}}{30.0 \text{ m/hr/banco}} = 6.0 \text{ hr} = 6.0 \text{ horas de barrenación}$$

Para la rezaga se considera el rendimiento de cargador por hora efectiva, incluyendo factores de corrección por condiciones de trabajo.

$$\text{Rendimiento del equipo} = 600 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Volumen de excavación por banco afectado por el factor de abundamiento:

$$1800 \text{ m}^3 \times 1.49 = 2684.6 \text{ m}^3$$

$$\text{Rezaga: } \frac{2684.6 \text{ m}^3}{600 \text{ m}^3/\text{hr}} = 4.47 \text{ hr}$$

$$4.47 \text{ hr} < 6.0 \text{ horas de barrenación}$$

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

Finalmente conociendo los equipos, el número de ellos y sus rendimientos, se programaron los dos diferentes frentes de trabajo:

**Frente de Barrenación**

|   |            |   |                     |   |                              |
|---|------------|---|---------------------|---|------------------------------|
| 1 | Hidrotrack | = | 1800 m <sup>3</sup> |   |                              |
| 1 | Cargador   | = | 1800 m <sup>3</sup> | = | 2684.6 m <sup>3</sup> suelto |
| 7 | Camiones   | = | 1800 m <sup>3</sup> | = | 2684.6 m <sup>3</sup> suelto |

Por lo tanto:

|                     |   |       |
|---------------------|---|-------|
| 1800 m <sup>3</sup> | - | 10 hr |
| 3600 m <sup>3</sup> | - | 20 hr |

La excavación en roca, para dos turnos de 10 horas, por frente de trabajo es de: **3600 m<sup>3</sup>/día**

**Frente de Despalse**

|   |         |   |                             |
|---|---------|---|-----------------------------|
| 1 | Tractor | = | 2386.91 m <sup>3</sup> /día |
|---|---------|---|-----------------------------|

Para el despalse se considera el rendimiento del tractor para material en banco, por hora efectiva e incluyendo factores de corrección por condiciones de trabajo:

$$\text{Rendimiento equipo} = 198.91 \text{ m}^3/\text{hr} \times 12 \text{ hr} = \mathbf{2386.91 \text{ m}^3/\text{día}}$$

## **II.3. Concretos en Obra de Excedencias**

### **II.3.1. Estructura de Control**

Para lograr cumplir con los tiempos de ejecución contemplados en el programa de construcción, dentro de la planeación se concibió ejecutar las diferentes estructuras utilizando cimbra trepadora donde estas lo permitiesen, básicamente en las pilas y los muros alabeados de la estructura de control.

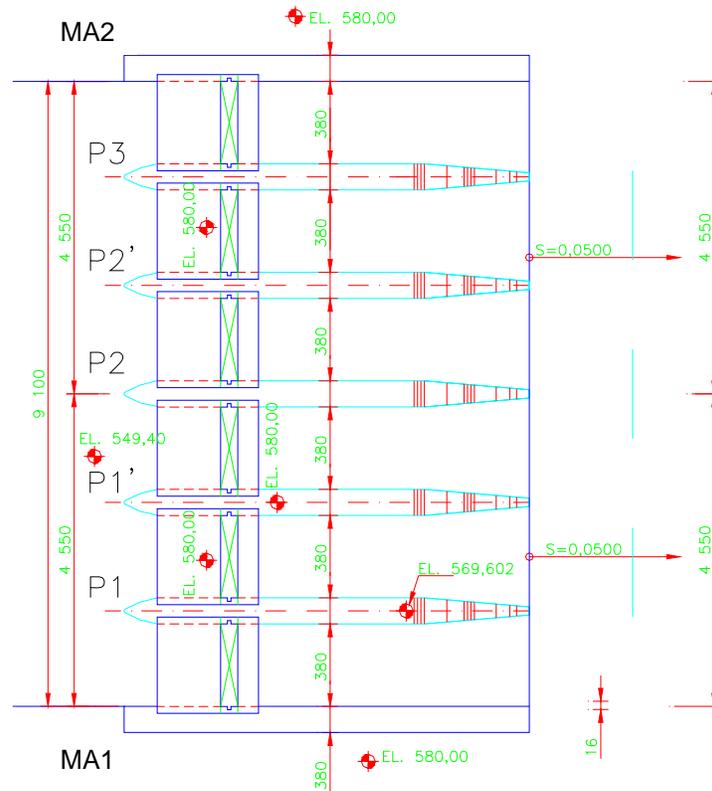
#### **SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN**

##### Muros Alabeados

Primero se construirá el muro alabeado derecho 1 (figura II.7.), en lo que será una primera etapa. Una vez terminado éste, se trasladará el equipo de cimbra trepadora utilizado en la etapa anterior para construir el muro alabeado izquierdo 2, como parte de una segunda etapa.

##### Pilas

A la par de la construcción del muro alabeado 1 se construirán las pilas derechas P1 y P1' (figura II.7.). Posteriormente al término de esta primera etapa se trasladarán, al igual que en los muros alabeados, los equipos de cimbra trepadora utilizados en las dos primeras pilas para construir las dos pilas centrales P2 y P2'. En una tercera y última etapa, se trasladará una de las cimbres trepadoras utilizadas en la etapa anterior para construir la pila izquierda P3.



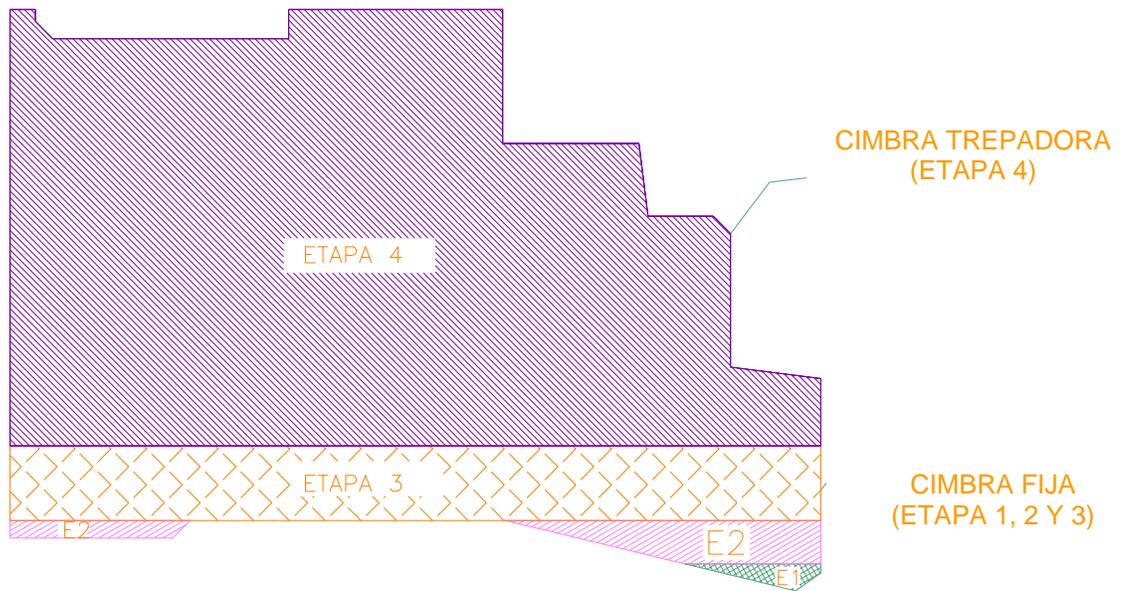
**Figura II.7.- Diagrama con los 2 muros albeados y las 5 pilas centrales**

### Construcción de Muros Albeados y Pilas Centrales

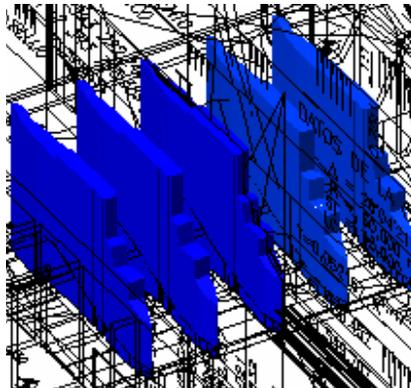
Es importante señalar que los rendimientos considerados para la construcción de los muros albeados y pilas centrales se basan en el número de colados, de 2.20 m de altura, que se requieran para la construcción de estas estructuras. Tomando en cuenta esto y considerando que los muros y las pilas tienen una altura promedio de 38.5 m, y que cada colado se realiza en una semana, en aproximadamente 17 semanas y media se podrán concluir los colados de una pila o muro albeado hasta lo alto. Por otra parte, una semana antes del primer colado se requiere iniciar con los trabajos del habilitado del acero de refuerzo para una altura de 2.20 m, el primer colado, para después en la semana siguiente realizar el colado correspondiente. Por lo tanto si a las semanas de

colados se le suma la semana del habilitado, un muro alabeado y dos pilas centrales se concluirán en aproximadamente 18 semanas y media.

A continuación, en la figura II.8., se muestra un esquema con las etapas del procedimiento de construcción de las pilas centrales; y en la figura II.9. se presenta una vista isométrica de las cinco pilas centrales que conforman la estructura de control.

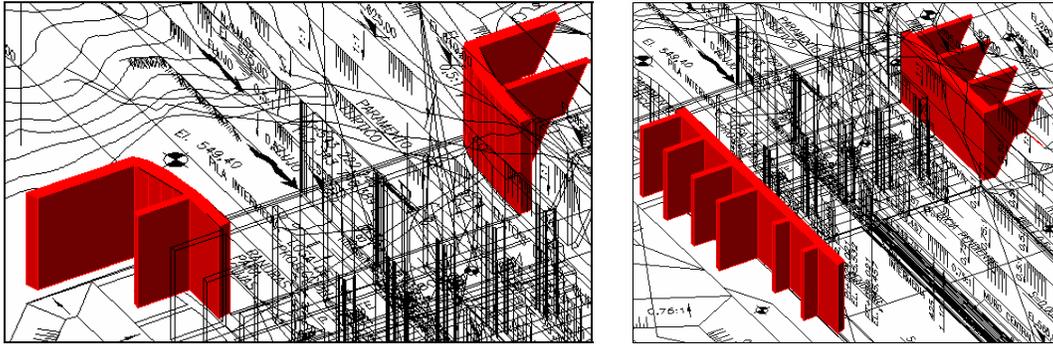


**Figura II.8.- Procedimiento de construcción de las pilas centrales**



**Figura II.9.- Vista isométrica de las pilas centrales**

Por último, los muros alabeados, que son una estructura continua, se consideraron en dos secciones (figura II.10.), la primera sección forma parte del canal de llamada de la obra de excedencias y la segunda está alineada con la estructura de control.



**Figura II.10.- Vista isométrica de los muros alabeados**

### Cimacio

a) Cuerpo principal

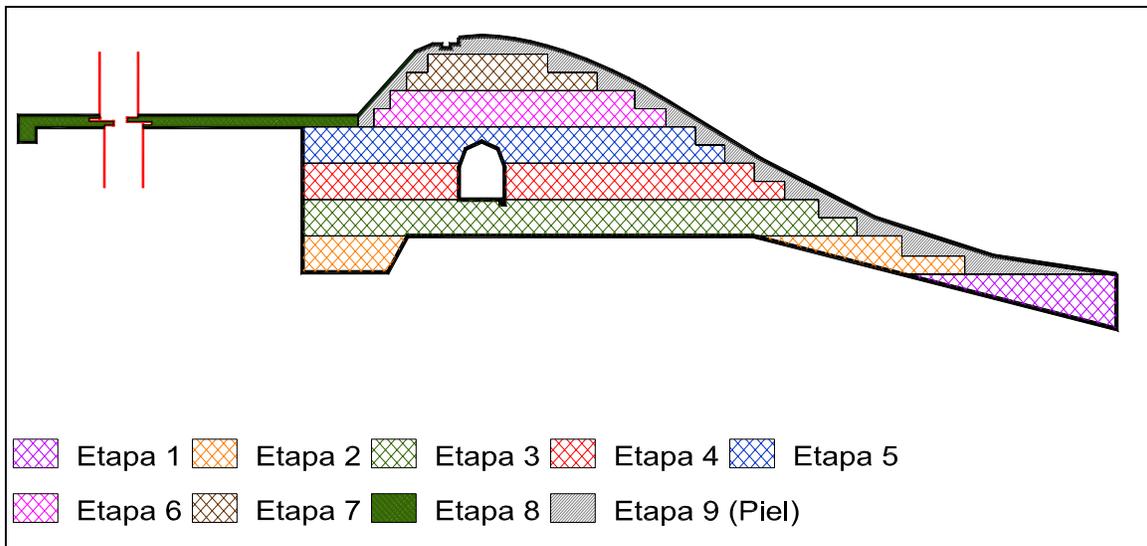
Una vez terminado al menos un claro entre pilas se iniciará la construcción del cuerpo principal del cimacio. Este consistirá en realizar colados escalonados de 2.40 m de altura, con el objetivo de dejar para lo último la construcción de la piel del cimacio y evitar daños en la superficie terminada del concreto.

b) Piel del cimacio

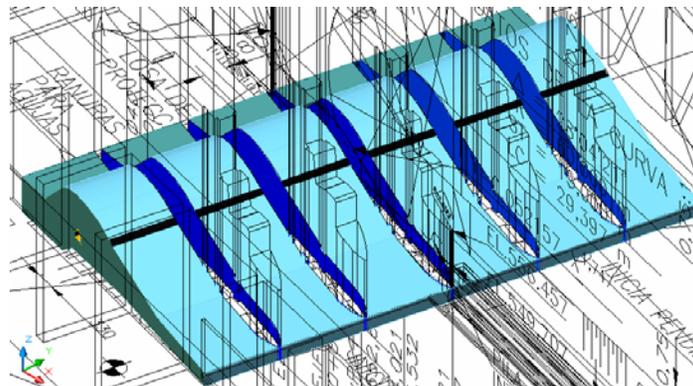
Esta etapa se realizará utilizando el sistema de cimbra deslizante y solamente se iniciará cuando estén terminados, el cuerpo principal del cimacio, los muros alabeados y las pilas adyacentes a este vano, esto para evitar que la piel de concreto sea dañada por la caída de objetos. El método de deslizado será a tracción con avances promedio de 25-30 cm/hr.

### Construcción del Cimacio

En la figura II.11. se muestra un esquema con el procedimiento de construcción del cimacio, el cual contempla siete etapas escalonadas que conformarán el cuerpo principal, el colado de la losa de protección en la etapa ocho y a lo último, en una etapa nueve, la construcción de la piel; en la siguiente figura II.12. se presenta una vista isométrica con los seis vanos y sus respectivos cimacios que conformarán la estructura de control.



**Figura II.11.- Procedimiento de construcción del cimacio**



**Figura II.12.- Vista isométrica de los seis vanos**

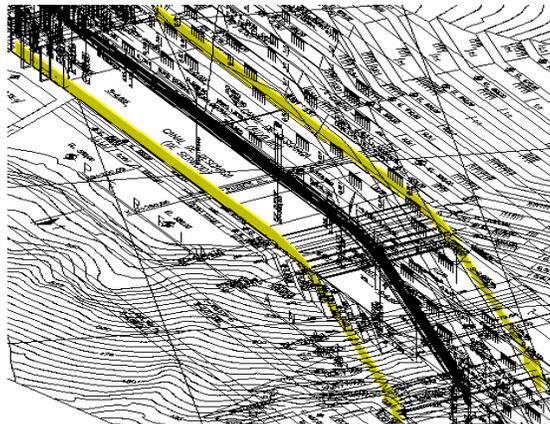
### II.3.2. Canal de Descarga

Para este frente se planearon construir los muros laterales y el muro central con cimbras fijas autoportantes tipo cantilliver de 20 m de longitud. A su vez, las losas de piso se colarán utilizando cimbras deslizantes. Para alcanzar las distancias a los diferentes miembros estructurales en la colocación de concreto, se consideró la incorporación de recursos versátiles y de gran tamaño, tal es el caso de la colocadora de concreto Creter Crane 200-24 de Rotec y/o similar.

#### SECUENCIA DE CONSTRUCCIÓN

##### Muros Laterales

Los muros laterales tal como se comentó se construirán en módulos de 20 m; se propone utilizar dos moldes de 20 m que trabajarán de manera alternada, es decir, uno para números pares y el otro para los números nones. Previamente a estos trabajos habrá que construir una calzada de 5 m de ancho para el movimiento del personal y el encofrado; este encofrado previsto a utilizar será del tipo Peri y/o similar, que trabaja a cantilliver y permite que el colado se realice en una sola etapa. La figura II.13. muestra una vista isométrica de los muros laterales del canal de descarga.

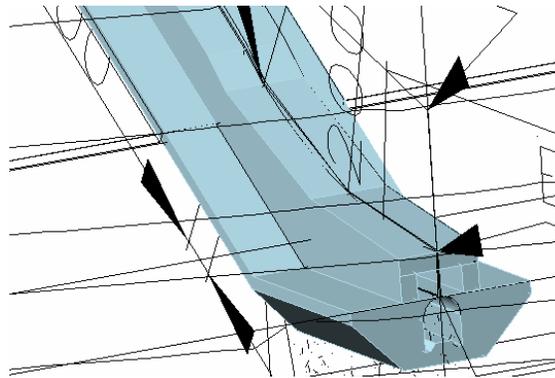


**Figura II.13.- Vista isométrica de los muros laterales**

### Muro Central

En la última información proporcionada por parte de la C. F. E. no se tenía considerado ejecutar esta estructura, sin embargo, quedará como un concepto a precio unitario en dado caso de que en el futuro se tomara la decisión de construirse.

En este frente deberá darse prioridad a la construcción del dentellón y la calzada de ambos lados. Posteriormente se construiría el muro en módulos de 20 m utilizando 2 cimbras: la exterior y la interior, esta última servirá para conformar la galería de inspección (figura II.14.). La cimbra interior se propone ser una cimbra autoportante metálica colapsable que trabajará de manera simultánea con el encofrado exterior, que será similar al del muro lateral, es decir, de tipo cantiliver.



**Figura II.14.- Vista isométrica del muro central**

### Losas de Piso

Estas losas se planearon realizar por el método de cimbra deslizante. Se colarán en seis secciones longitudinales de 12.70 y 13.70 m de ancho y a todo lo largo del canal. Por el cambio de pendiente, la construcción de las losas se realizará en dos etapas, la primera desde el cimacio hasta el inicio de la rápida (figura II.15.), y la segunda etapa comprende la rápida y la cubeta deflectora (figura II.16.).



### II.3.3. Cubeta Deflectora

El orden de las etapas de construcción para este frente se muestra en la figura II.17., y será el siguiente: el dentellón (etapas 1, 2 y 3), los muros laterales (etapa 4), el muro central si es el caso (etapa 5), la losa (etapa 6), y para lo último, con el fin de evitar daños, la piel (etapa 7). Las diferentes etapas de construcción se planean realizar con los equipos descritos anteriormente.

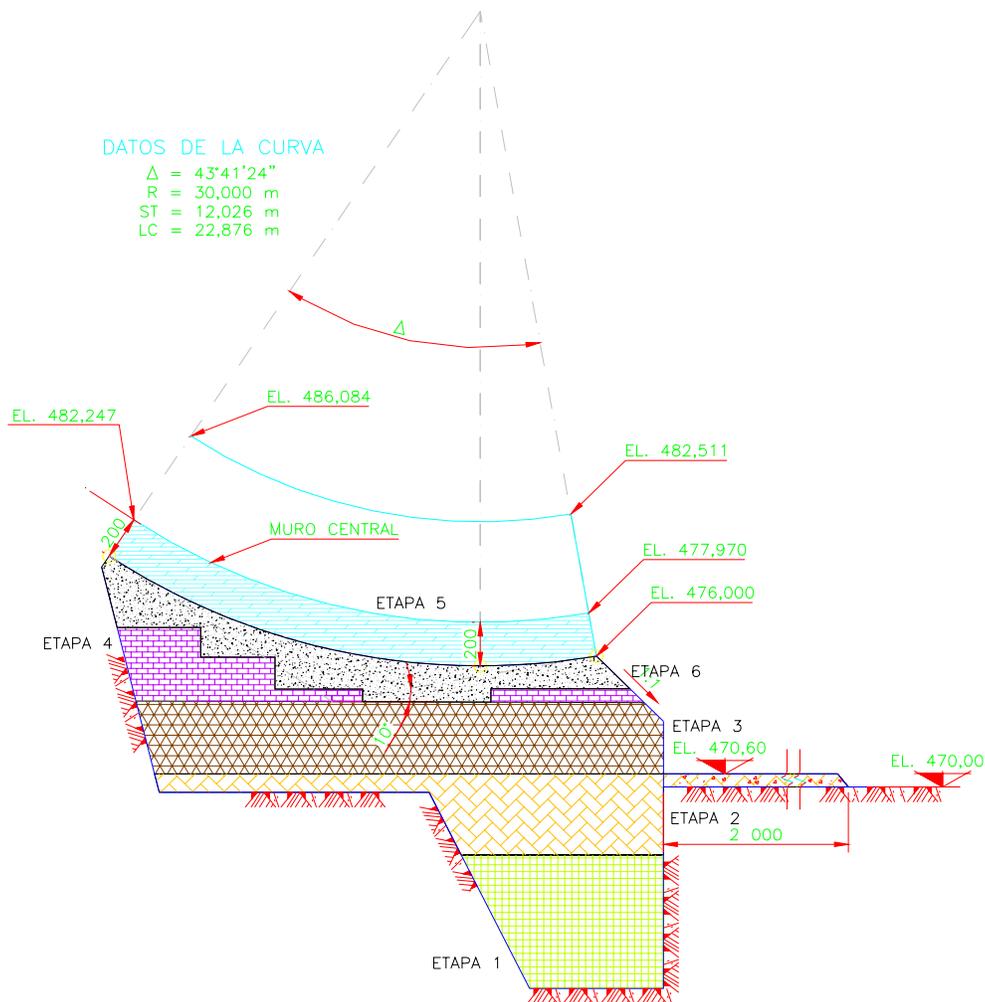


Figura II.17.- Etapas de construcción de la cubeta deflectora

### **III. DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE CONTENCIÓN**

*Este capítulo detallará las necesidades de material tanto en ataguías como en cortina, los procedimientos de construcción de las diferentes estructuras que conforman la obra de contención del P. H. La Yesca, así como las etapas de colocación de materiales en la pre-ataguía aguas arriba, la ataguía aguas abajo, la ataguía integrada y la cortina, considerando en esta última, la construcción del plinto y la cara de concreto.*

#### **III.1. Generalidades**

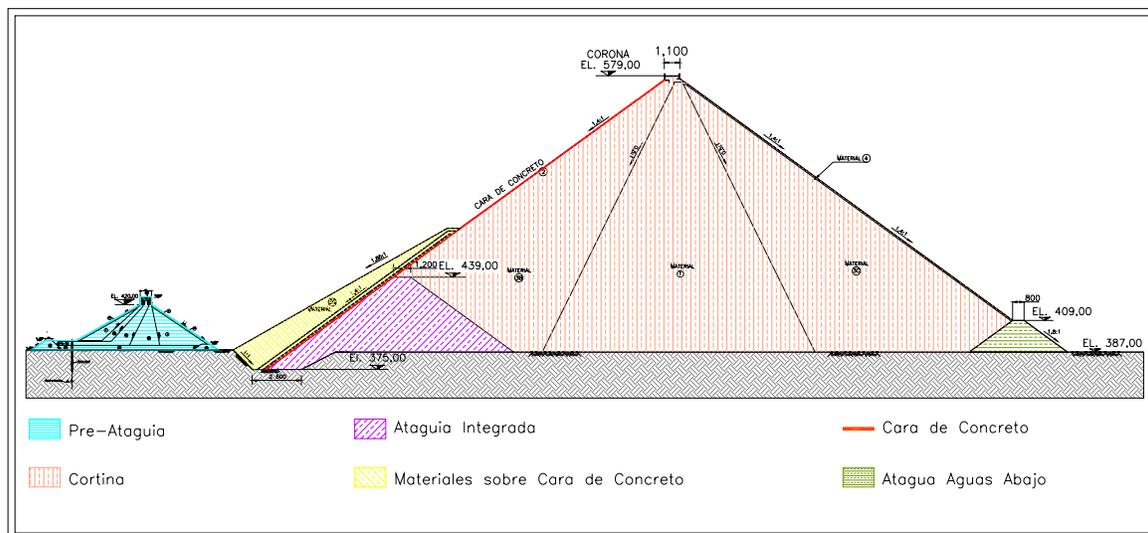
Se tiene planeado, por primera vez en México, que en la obra de contención del P. H. La Yesca la ataguía aguas arriba se encuentre integrada al cuerpo de la cortina, esto con el fin de evitar la construcción de una ataguía alta, de gran volumen y afuera del cuerpo principal de la cortina que posteriormente quedara inundada y sin ninguna utilidad para el proyecto; con esto se logrará ahorrar tanto en costos como en tiempos de ejecución. Para la construcción de esta ataguía integrada, de 613,679 m<sup>3</sup> de volumen y con la corona a la elevación 439 msnm (Tr = 100 años), se requiere construir

## Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

primero una pre-atagüa aguas arriba hasta la elevación 425 msnm con un volumen de 421,786 m<sup>3</sup> y calculada para un periodo de retorno de  $Tr = 30$  años; un bordo sobre el arroyo El Carrizalillo de 8,912 m<sup>3</sup>; y una atagüa aguas abajo que también se encuentra dentro del cuerpo de la cortina, cuyo volumen es de 86,760 m<sup>3</sup> y con corona a la elevación 409 msnm (figura III.1.). Estas atagüas, que sirven para desviar el río desde la primera temporada de estiaje, en su mayoría se construirán paralelamente la una de la otra.

Por otro lado, la cortina es de enrocamiento con cara de concreto y, al igual que la atagüa integrada, se desplanta en el cauce del río principalmente sobre el aluvión a la elevación 387 msnm; cuenta con una corona de 11 m de ancho por 578.23 m de largo y que se encuentra a la elevación 579 msnm (figura III.1.); tomando en cuenta los materiales sobre la cara de concreto, el volumen total del cuerpo principal de la cortina es de 11'664,871 m<sup>3</sup>.

El desplante del plinto, en la zona del cauce del río, se encuentra al fondo del aluvión a la elevación 375 msnm (figura III.1.), y es el que soportará la cara de concreto, primero de la atagüa integrada y posteriormente la de toda la cortina.



**Figura III.1.- Obra de Contención**

## III.2. Materiales Requeridos en el Proyecto

### III.2.1. Materiales de Relleno para la Obra de Contención

Una vez realizados los cálculos de volúmenes de las diferentes estructuras de la obra de contención (pre-ataguía aguas arriba, ataguía aguas abajo, ataguía integrada y cortina), se obtuvieron un total de 12'787,096 m<sup>3</sup> de materiales a colocarse. Estos materiales de relleno se clasifican básicamente en enrocamiento, aluvión, materiales procesados y arcilla; los cuales a su vez, se dividen en materiales con diferentes tipos de especificaciones y con diferentes nomenclaturas, como se muestra a continuación en la tabla III.1.:

**Tabla III.1.- Clasificación de los materiales**

|                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| Enrocamiento          | 3C, 3G, 3H, 4, T |
| Aluvión               | 3B               |
| Materiales procesados | 2F, 2            |
| Arcilla               | 1B, N            |

La siguiente tabla III.2. muestra la distribución por estructura de las necesidades según el tipo de material del que se trate, incluyendo los materiales necesarios para la fabricación de concretos. La cortina incluye el volumen de material de la ataguía integrada y de los materiales sobre la cara de concreto.

| CORTINA DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO |                  |                |                  |                   |                                  |                |                         |                |                   |
|--|------------------|----------------|------------------|-------------------|----------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|-------------------|
| ESTRUCTURA                                   | ENROCAMIENTO     |                |                  | ALUVIÓN           | MATERIALES QUE REQUIEREN PROCESO |                |                         | LIMO Y ARCILLA | TOTALES           |
|  | 3C, 3G, 3H       | 4              | T                | 3B                | 2F                               | 2              | AGREGADOS PARA CONCRETO | 1B, N          |                   |
| CORTINA                                      | 3,913,093        | 167,636        | 4,137,898        | 3,649,725         | 8,448                            | 362,800        |                         | 38,950         | 12,278,550        |
| ATAGUIAS                                     | 20,587           | 39,476         | 177,487          | 163,206           | 0                                | 0              |                         | 107,790        | 508,546           |
| CONCRETOS                                    |                  |                |                  |                   |                                  |                | 503,833                 |                | 503,833           |
| <b>SUBTOTALES</b>                            | <b>3,933,680</b> | <b>207,112</b> | <b>4,315,385</b> | <b>3,812,931</b>  | <b>8,448</b>                     | <b>362,800</b> | <b>503,833</b>          | <b>146,740</b> | <b>13,290,929</b> |
| <b>TOTALES</b>                               | <b>8,456,177</b> |                |                  | <b>3,812,931</b>  | <b>875,081</b>                   |                |                         | <b>146,740</b> | <b>13,290,929</b> |
| <b>NECESIDADES TOTALES</b>                   |                  |                |                  | <b>13,144,189</b> |                                  |                |                         | <b>146,740</b> | <b>13,290,929</b> |

**Tabla III.2.- Distribución de las necesidades**

PRE-ATAGUÍA AGUAS ARRIBA

En la figura III.2. se puede observar la distribución de los diferentes tipos de materiales utilizados en la pre-ataguía aguas arriba, incluyendo los gaviones.

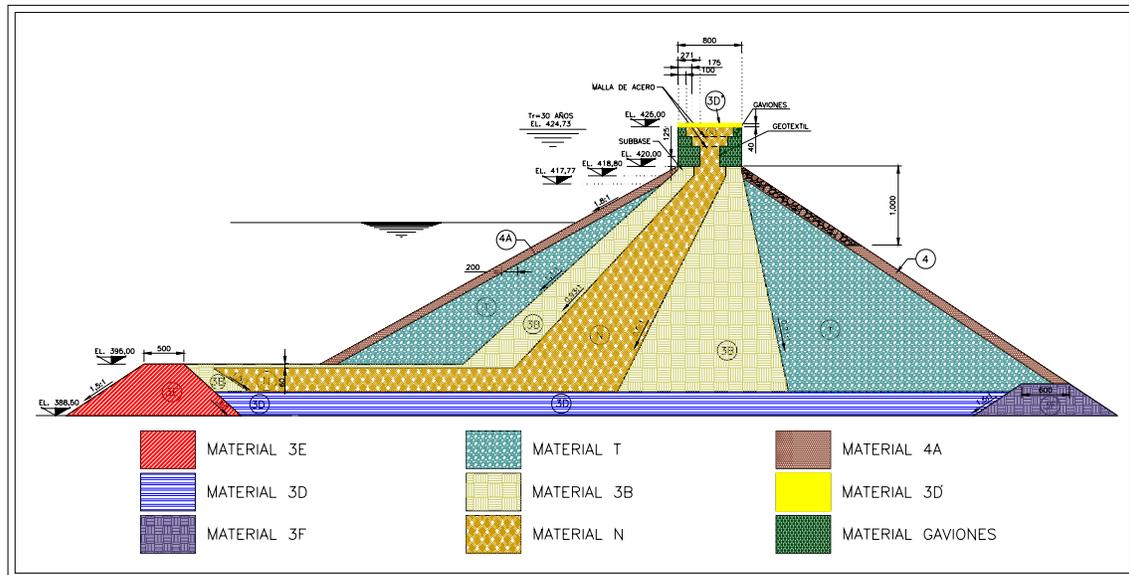


Figura III.2.- Perfil de la pre-ataguía aguas arriba

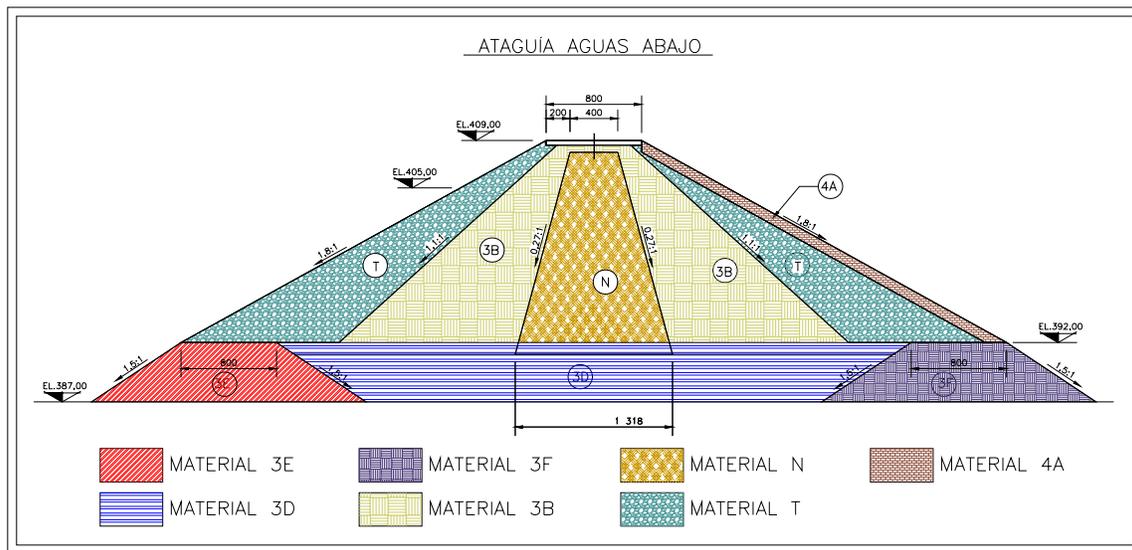
Los volúmenes de cada uno de los materiales a utilizar en esta ataguía se muestran en la tabla III.3. En ella se incluye el volumen de material requerido para los gaviones.

| Pre-Ataguía Aguas Arriba |                              |
|--------------------------|------------------------------|
| Tipo de material         | Cantidad (m <sup>3</sup> )   |
| 3D                       | 21,265 m <sup>3</sup>        |
| 3D'                      | 1,130 m <sup>3</sup>         |
| 3E                       | 6,509 m <sup>3</sup>         |
| 3F                       | 2,964 m <sup>3</sup>         |
| 3B                       | 102,574 m <sup>3</sup>       |
| N                        | 94,607 m <sup>3</sup>        |
| T                        | 156,399 m <sup>3</sup>       |
| 4A                       | 36,337 m <sup>3</sup>        |
| GAVIÓN                   | 6,403 m <sup>3</sup>         |
| <b>TOTAL</b>             | <b>428,188 m<sup>3</sup></b> |

Tabla III.3.- Cantidades de materiales en la pre-ataguía

### ATAGUÍA AGUAS ABAJO

Al igual que en la pre-ataguía aguas arriba en la figura III.3.. se pueden observar el tipo y la distribución de los materiales requeridos para la construcción de la ataguía aguas abajo. Como se puede ver, tanto en esta figura como en la anterior (III.2.), ambas ataguías están diseñadas de enrocamiento con núcleo de arcilla.



**Figura III.3.- Perfil de la ataguía aguas abajo**

En la tabla III.4. se detallan las cantidades en m<sup>3</sup> de los diferentes tipos de material requeridos para la construcción de la ataguía aguas abajo.

| Ataguía Aguas Abajo |                             |
|---------------------|-----------------------------|
| Tipo de material    | Cantidad (m <sup>3</sup> )  |
| 3B                  | 27,522 m <sup>3</sup>       |
| 3D                  | 11,845 m <sup>3</sup>       |
| 3E                  | 5,151 m <sup>3</sup>        |
| 3F                  | 4,832 m <sup>3</sup>        |
| 4A                  | 3,139 m <sup>3</sup>        |
| N                   | 13,183 m <sup>3</sup>       |
| T                   | 21,088 m <sup>3</sup>       |
| <b>TOTAL</b>        | <b>86,760 m<sup>3</sup></b> |

**Tabla III.4.- Cantidades de materiales en la ataguía aguas abajo**

CORTINA

La figura III.4. muestra la distribución y el tipo de materiales en cortina incluyendo los materiales sobre la cara de concreto.

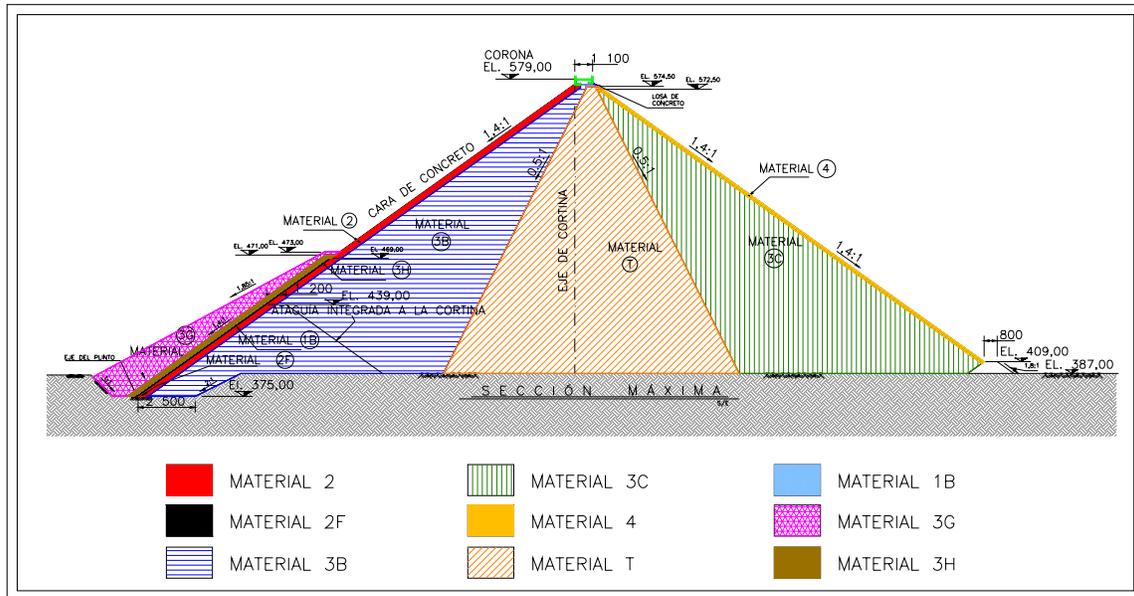


Figura III.4.- Perfil de la cortina

La cantidad en m<sup>3</sup> de cada uno de los materiales se puede apreciar en la tabla III.5.

| Cortina                                  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Tipo de material                         | Cantidad (m <sup>3</sup> )      |
| 2  | 362,800 m <sup>3</sup>          |
| 2F                                       | 8,448 m <sup>3</sup>            |
| 3B                                       | 3,649,725 m <sup>3</sup>        |
| 3C                                       | 3,425,718 m <sup>3</sup>        |
| 4  | 167,636 m <sup>3</sup>          |
| T  | 4,137,898 m <sup>3</sup>        |
| <b>SUBTOTAL</b>                          | <b>11,752,225 m<sup>3</sup></b> |
| MATERIALES ENCIMA DE LA CARA DE CONCRETO |                                 |
| 1B                                       | 38,950 m <sup>3</sup>           |
| 3H                                       | 84,622 m <sup>3</sup>           |
| 3G                                       | 402,753 m <sup>3</sup>          |
| <b>SUBTOTAL</b>                          | <b>526,325 m<sup>3</sup></b>    |
| <b>TOTAL</b>                             | <b>12,278,550 m<sup>3</sup></b> |

Tabla III.5.- Cantidades de materiales en la cortina

### **III.3. Construcción de la Obra de Contención**

#### **III.3.1. Excavaciones en Laderas y Cauce del Río**

Las excavaciones en la obra de contención se iniciarán con el desmonte en laderas el 16 de mayo del 2008. Este desmonte consiste en retirar el material vegetal tal como arbustos, matorrales, troncos, etc., que serán almacenados en zonas afuera del proyecto que, de acuerdo al estudio de impacto ambiental, sea donde se afecte en menor medida al ecosistema. Simultáneo al desmonte se iniciará el despalme, el cual consiste en retirar la capa vegetal, el suelo, el aluvión y la roca suelta hasta encontrar el estrato de roca sana. El material producto de esta última actividad es considerado desperdicio por tratarse de material de muy mala calidad, y será depositado en las zonas de desperdicio autorizadas por la C. F. E.

El desmonte y despalme se realizará con tractores CAT D8R y/o similar y con retroexcavadoras CAT 225 y/o similar.

Por otro lado, para la excavación en roca se utilizarán equipos de perforación electro-hidráulicos montados sobre orugas tipo Ranger 600 de Tamrock y/o similar, para la carga de material se propone utilizar cargadores frontales CAT 992 y/o similar, y para el transporte camiones fuera de carretera CAT 775 y/o similar. Este material, el cual se considera material para relleno, será utilizado en la pre-ataguía aguas arriba y la ataguía aguas abajo.

La disposición de los materiales excavados que sean aptos para ser utilizados en la construcción de las ataguías y cortina se tendrán que almacenar en las zonas de depósito de materiales seleccionadas para tal fin, ya que existirá un desfase entre la colocación de materiales en estas estructuras y la excavación de laderas y cauce del río; los sobrantes serán enviados a los bancos de desperdicio mencionados anteriormente.

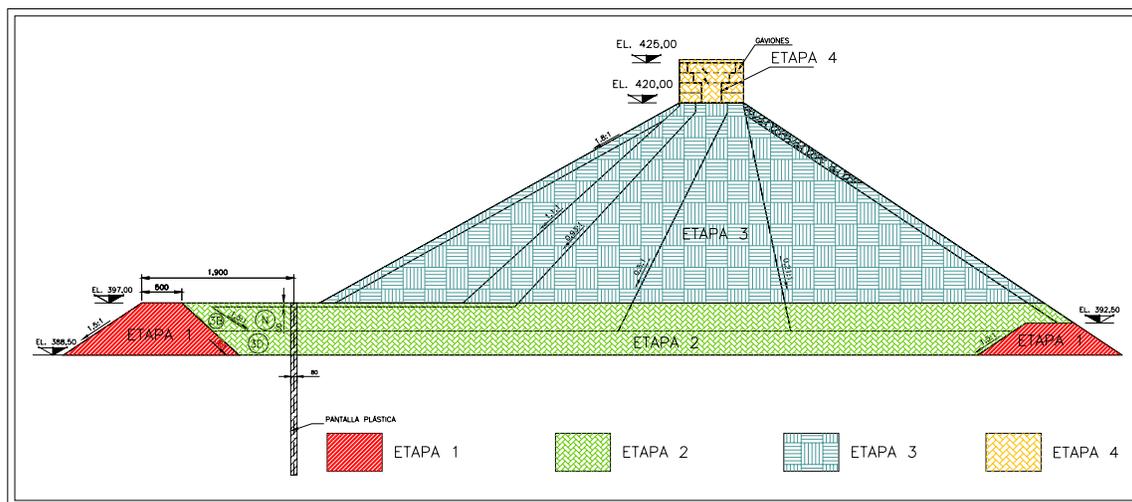
### III.3.2. Construcción de Pre-Ataguía y Ataguía Aguas Abajo

Al concluir la construcción del túnel 1 se realizará el desvío del río con el inicio de la colocación de materiales simultánea en pre-ataguía aguas arriba y ataguía aguas abajo el 01 de noviembre del 2008, hasta las elevaciones 425 y 409 msnm respectivamente.

Una vez desviado el río ambas ataguías se suspenderán momentáneamente para la construcción de las pantallas plásticas impermeables, con las cuales se podrá empezar a bombear el recinto e iniciar los trabajos necesarios para la construcción de la cortina.

#### ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA PRE-ATAGUÍA AGUAS ARRIBA

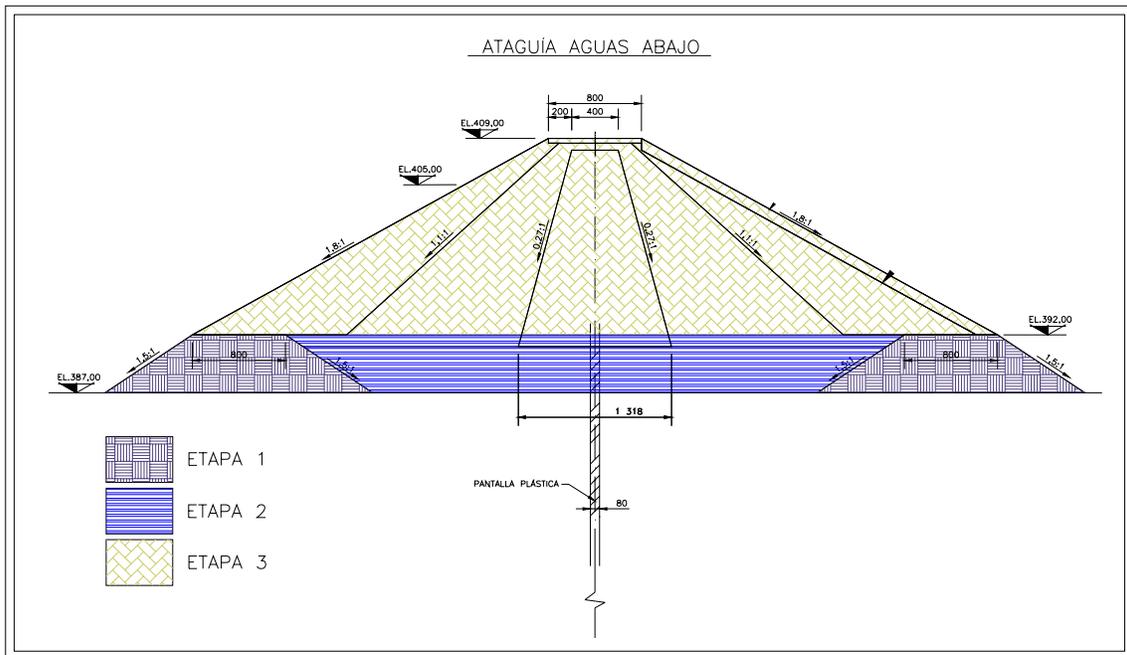
La primera etapa de construcción de la pre-ataguía aguas arriba consiste en colocar material a fondo perdido hasta llegar al nivel de río; para la siguiente etapa se colocará material hasta la elevación de la pantalla plástica impermeable. Posterior a la construcción de esta pantalla se continuará con la colocación de materiales hasta la elevación 420 msnm y se finalizarán los trabajos con la construcción de los gaviones en la corona para concluir la pre-ataguía en la elevación 425 msnm (figura III.5.).



**Figura III.5.- Etapas de construcción de la pre-ataguía aguas arriba**

## ETAPAS DE CONSTRUCCIÓN DE LA ATAGUÍA AGUAS ABAJO

El procedimiento de construcción en la ataguía aguas abajo es el mismo que la pre-ataguía aguas arriba, en él cual después de la construcción de la pantalla plástica se colocará material hasta la elevación 409 msnm (figura III.6.).



**Figura III.6.- Etapas de construcción de la ataguía aguas abajo**

## MANEJO DE MATERIALES EN ATAGUÍAS

### Materiales 3D', 3E, 3F, T y 4A (Roca)

Estos materiales provendrán de las excavaciones a cielo abierto y subterráneas de la obra de desvío; los materiales excavados se irán almacenando a un lado de los portales de entrada y de salida para su posterior acarreo a la zona de las ataguías. La carga de material se realizará con cargadores sobre llantas tipo CAT 992 D y/o similar y se transportará con camiones fuera de carretera tipo CAT 775 D y/o similar.

## Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

El material 3E y 3F será tirado a fondo perdido y cuando se encuentre por arriba del nivel de agua se tenderá en capas de 60 cm, para lo cual se tiene previsto utilizar un tractor sobre orugas CAT D8R y/o similar, y se compactará pasando cuatro veces el compactador mixto de rodillo liso CAT CS-563D 10 Ton. El enrocamiento sano o aluvión con tamaño máximo de 80 cm será considerado material T. Antes de ser compactado con seis pasadas del compactador mixto arriba mencionado, se colocará en capas de 100 cm. Se le agregará agua con una pipa de agua de 10,000.0 lt. El material 4A estará conformado por fragmentos de roca sana  $\varnothing > 40$  cm; se colocará a volteo en capas de 80 cm con tractor sobre orugas CAT D8R y/o similar.

### Material N (Arcilla)

Este material provendrá de los bancos de material impermeable “La Haciendita” o “Mesa de la Tía Dominga”, ubicados al NE y SE de la cortina respectivamente; será necesario construir un camino de acceso de 3.50 Km. El material en el sitio del banco se explotará en rampa para mezclar los substratos y con equipo para cortar del tipo tractor sobre orugas CAT D8R y/o similar. Una vez cortado se realizará la carga de material el cual se ejecutará con cargador sobre llantas tipo CAT 966 GII y/o similar y el transporte, que se hará con camiones de 7 y 14 m<sup>3</sup>. El material será distribuido de manera uniforme en la superficie previamente preparada y una vez distribuido entrará el equipo de extendido, para lo cual se tiene pensado utilizar una motoniveladora CAT 140 H y/o similar.

El material se colocará en capas de 25 cm de espesor en estado suelto, y con el contenido de agua óptimo más 1%, se compactará con rodillo de almohadillas o pata de cabra de 100 KN de peso estático, hasta alcanzar el 95% de su peso volumétrico seco máximo con respecto a la prueba Proctor.

### Materiales 3B y 3D (Aluvión)

Estos materiales provendrán de los bancos de aluvión designados por la C.F.E., como pueden ser tanto del lecho como de las riberas de los ríos Santiago y Bolaños. El material será cargado por medio de retroexcavadoras CAT 385 B y/o similar, dragas y/o cargadores CAT 966 GII y/o similar, se trasladará sobre camiones de volteo de 7 y 14

m<sup>3</sup> que lo transportarán hasta la zona de colocación, se descargará en el sitio de su utilización y no requerirá de humectación dado que ya vendrá saturada de agua de los ríos. Posteriormente con tractores sobre orugas CAT D8R y/o similar se extenderá el material al espesor de capa especificado (80 cm.); una vez conformada y humectada la capa, se iniciará el proceso de compactación aplicando seis pasadas con el compactador mixto liso CAT CS-563D 10 Ton. Para el material 3D habrá que remover los tamaños con  $\varnothing > 40$  cm y se tirará a fondo perdido hasta 50 cm por arriba del nivel de agua. Posteriormente se tenderá en capas de 60 cm y se compactará con cuatro pasadas del mismo compactador arriba mencionado.

### **III.3.3. Pantallas Plásticas Impermeables**

Estas estructuras están previstas realizarse en la pre-ataguía aguas arriba y en la ataguía aguas abajo con la finalidad de crear un plano de estanqueidad e impedir que el agua se filtre al recinto de la cortina. Están constituidas por una secuencia continua de paneles (muros de concreto) desplantados en zona de aluviones hasta hacer contacto con la roca existente. Estos paneles conformarán un área de 3,354 m<sup>2</sup> en la pre-ataguía aguas arriba y de 573 m<sup>2</sup> en la ataguía aguas abajo; además de esto, para mejorar la impermeabilización será necesario realizar un tratamiento, en ambas ataguías, mediante inyecciones de consolidación de 25 y 10 m de profundidad respectivamente y logrando el contacto roca-concreto. Durante los trabajos de colocación del concreto se deberán dejar tubos embebidos de PVC de 6" de diámetro para realizar las labores de inyección, el resto de la profundidad se logrará barrenando con martillo de fondo.

El procedimiento de construcción de los paneles involucrará las siguientes actividades:

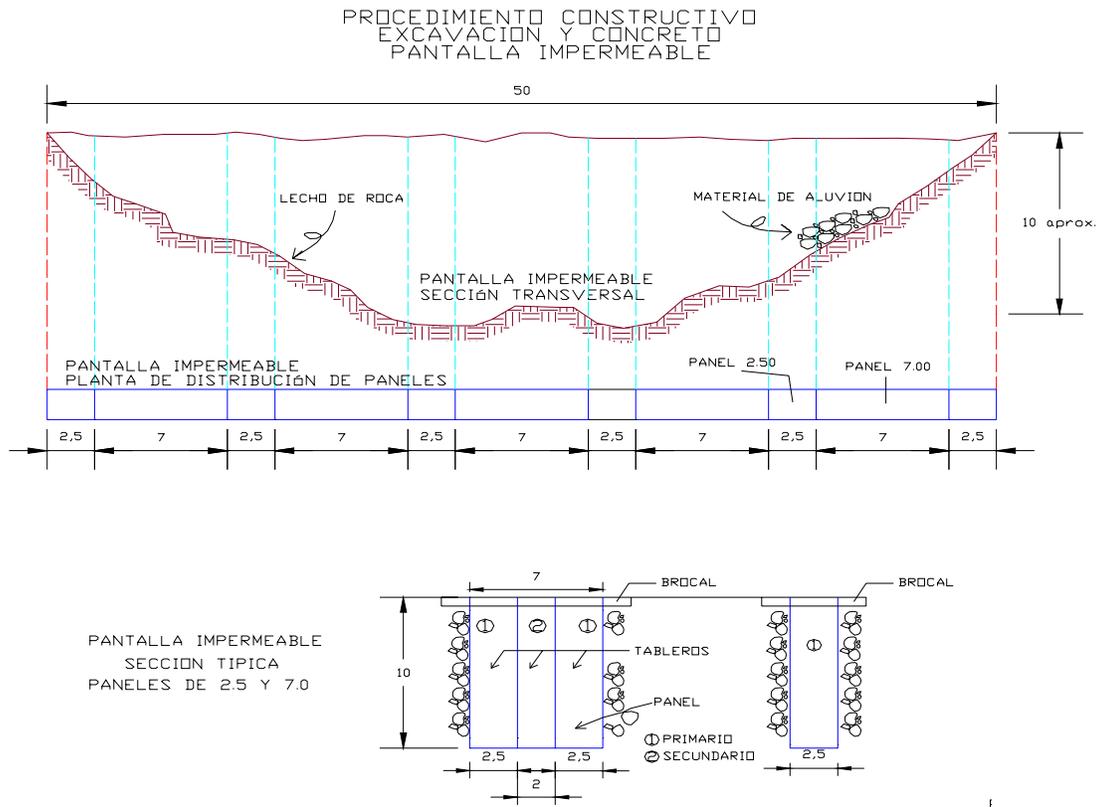
- Plataformas de trabajo.- Superficie necesaria que se habilitará al lado de las pantallas para instalar los equipos de excavación e inyección.
- Construcción de brocales.- Estructuras construidas a base de concreto simple para guiar la excavación.

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

- Instalación y armado de equipos de perforación e inyección.- Actividades propias donde se armará e instalará los equipos de excavación y preparación de mezclas para inyección de cemento y lodo bentonítico.
- Excavación de zanjas hasta el contacto con la roca.- Actividad de excavación donde se incorporará lodo bentonítico. Se planea realizarla en paneles de 7.0 m de largo alternados con paneles de 2.50 m. Cada panel de 7.0 m se compondrá de tres tableros: dos primarios de 2.50 m y un secundario de 2.0 m. Los paneles de 2.50 m se realizarán con un solo tablero de 2.50 m. Esta actividad está prevista realizarse con una grúa Link-Belt LS-118 y una excavadora almeja hidráulica de 800 \* 2500 mm. Para la demolición de bloques y boleos de gran tamaño que no puedan extraerse con el equipo de almeja se usará una grúa con trépano o cincel Link-Belt LS-108. Las actividades están previstas realizarse en dos turnos.
- Colocación de concreto.- El suministro de concreto para la pared moldeada se realizará a tiro directo usando dos líneas de tubería tremie de 12" de diámetro, el concreto será vertido hasta el fondo de la zanja por medio de las tuberías indicadas de tal manera que vaya desplazando al lodo bentonítico que sirve de ademe de la excavación. Conforme avanza la colocación del concreto los tubos tremie son izados con la grúa Link-Belt LS-118 pero siempre procurando que se encuentren embebidos y cubiertos por el concreto por lo menos 3.0 m.
- Perforación e inyecciones.- La perforación se realizará con un martillo de fondo de un diámetro de 2" accionado por un compresor portátil Ingersoll Rand de alta presión de 900 PCM y/o similar. Las inyecciones se realizarán utilizando obturadores del tipo Bimbar y/o similar que son inflados por medio de agua a los efectos de obturar en la posición deseada. Se recomienda utilizar el método GIN de inyección y realizar tres etapas de inyección, dos de 5 m y la de contacto roca-concreto.
- Demolición de brocales guía.- Una vez concluidos los trabajos se retirarán los brocales construidos utilizando rompedoras neumáticas y/o similar.

El procedimiento de excavación y colado de los concretos se puede observar claramente en la figura III.7., de la siguiente hoja.

## Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca



**Figura III.7.- Procedimiento constructivo de las pantallas plásticas impermeables**

### III.3.4. Bombeo del Recinto

El bombeo del recinto se iniciará una vez terminadas las pantallas impermeables, ya que antes de la inyección de éstas la filtración de agua por las ataguías será constante. Una vez iniciado el bombeo y que el recinto se encuentre relativamente seco, se procederá a la excavación del lecho del río.

El abatimiento del nivel freático en el recinto se propone realizarlo mediante un sistema de bombeo utilizando bombas sumergibles de 6" tipo Flygt modelo Bibo 2250, cuya capacidad de bombeo es de 60 lt/seg para una carga de 60 m. Estas bombas se instalarán estratégicamente dando prioridad a la zona del cauce del río donde se desplantará el plinto.

### III.3.5. Construcción de Ataguía Integrada y Cortina

#### CONSTRUCCIÓN DE ATAGUÍA INTEGRADA AGUAS ARRIBA

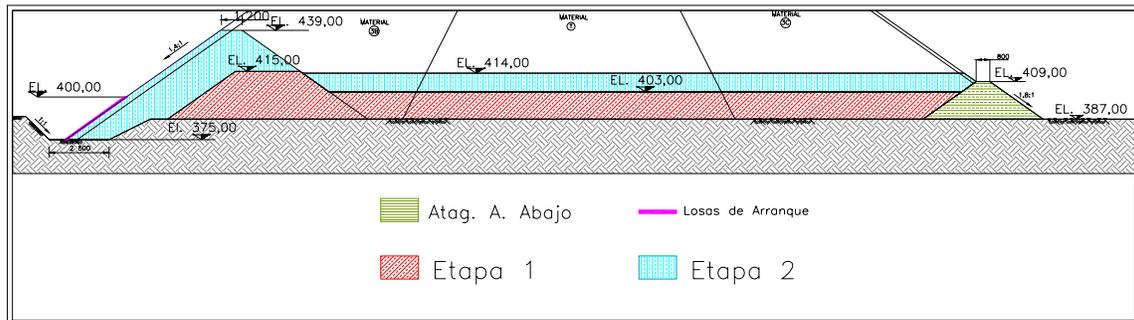
Como es de esperarse, la pre-ataguía aguas arriba solamente funcionará durante la 1ª época de estiaje del proyecto después de desviar el río (de nov/2008 a junio/2009); por lo que es necesario iniciar lo antes posible la construcción de la ataguía aguas arriba integrada a la cortina, la cual tiene un volumen de 613,679 m<sup>3</sup>. A la par del inicio de la construcción de la ataguía integrada se excavará la sección del plinto sobre el cauce del río para posteriormente hacer los tratamientos en el dique, tales como la limpieza y el concreto de reposición, arrancar con el tapete de consolidación en el cauce, la pantalla de impermeabilización y los tratamientos en el lecho del río con Jet Grouting. Después de haber excavado el cauce y comenzado las inyecciones pertinentes en esta zona de falla se iniciará con el colado del plinto desde el desplante hasta la elevación 400 msnm.

Por otro lado, la colocación de materiales en la ataguía integrada iniciará una vez terminadas las pantallas plásticas en pre-ataguía y ataguía aguas abajo el 02 de enero del 2009. Esta colocación se tiene planeado realizar en dos etapas:

En la primera etapa de colocación de materiales en ataguía integrada se colocará material 3B en la zona aguas abajo de la ataguía hasta la elevación 415 msnm con un volumen de 294,492 m<sup>3</sup>. Esta primera etapa tiene una duración de 3.5 meses y finalizará simultáneamente a la construcción del plinto aunque la colocación ya habrá iniciado unos meses antes alejada 10 metros de los trabajos en el cauce. Poco tiempo después de comenzada la construcción de la ataguía integrada se iniciará con la primera etapa de colocación de material en cortina hasta la elevación 403 msnm con un volumen de 538,698 m<sup>3</sup> (figura III.8.).

Habiendo concluido la primera etapa y terminado de construir el plinto en el cauce, se continuará con la segunda etapa de colocación de materiales en la zona de aguas arriba en la ataguía integrada y hasta la elevación requerida para un Tr = 100 años (439 msnm). Tendrá una duración de 2 meses aproximadamente y con esta etapa se

concluirá la ataguía integrada. Se colocará un volumen de 319,173 m<sup>3</sup> en la ataguía y a la par se colocarán 592,559 m<sup>3</sup> en una segunda etapa de construcción de la cortina, hasta la elevación 414 msnm (figura III.8.).



**Figura III.8.- Etapas de construcción de la ataguía integrada**

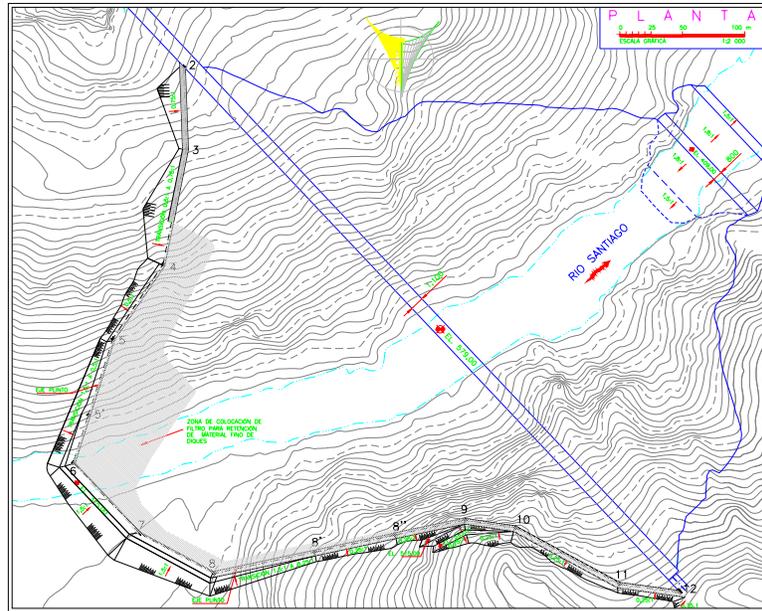
Cuando la etapa dos finalice se iniciará las losas de arranque de la cara de concreto que llegarán solo hasta la elevación 400 msnm, 25 m arriba de su desplante. Esto permitirá que en el mes de septiembre, el mes más crítico de la temporada de avenidas, se tenga un respaldo en el dado caso de que la pre-ataguía aguas arriba sea rebasada por el agua en una crecida del río.

La construcción de la ataguía integrada tiene una duración total aproximada de 5.5 meses, de enero a mediados de junio de 2009. Por otra parte la cara de concreto hasta la elevación 400 msnm se planea terminar en poco menos de mes y medio, es decir a finales del mes de julio.

## CONSTRUCCIÓN DEL PLINTO

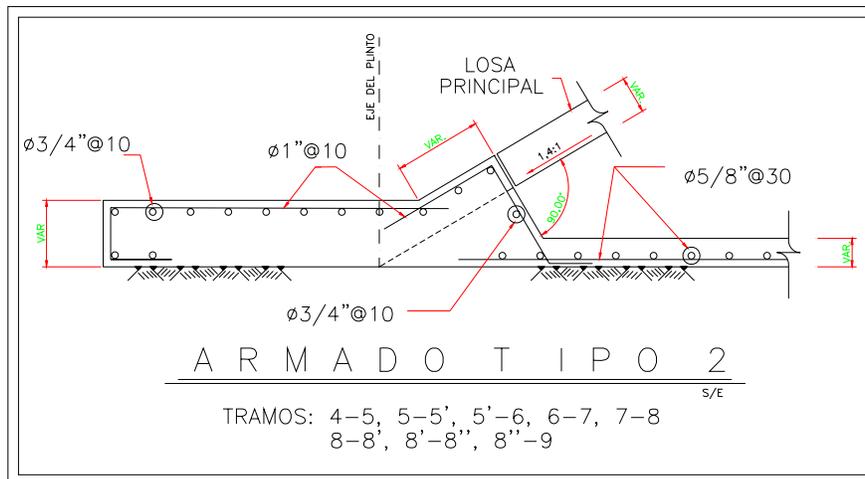
Como ya se mencionó, primero habrá que excavar la sección del plinto en el cauce y posteriormente las secciones del plinto en laderas, aunque las actividades para la construcción del plinto habrán de haber iniciado con el despalme en laderas desde que se comenzaron las excavaciones exteriores de la obra de desvío. Cabe señalar que la construcción del plinto en laderas será independiente de la colocación de materiales en

la ataguía integrada ya que en esta zona es posible avanzar rápidamente y no obstruir la construcción de ésta y la cortina (figura III.9.).



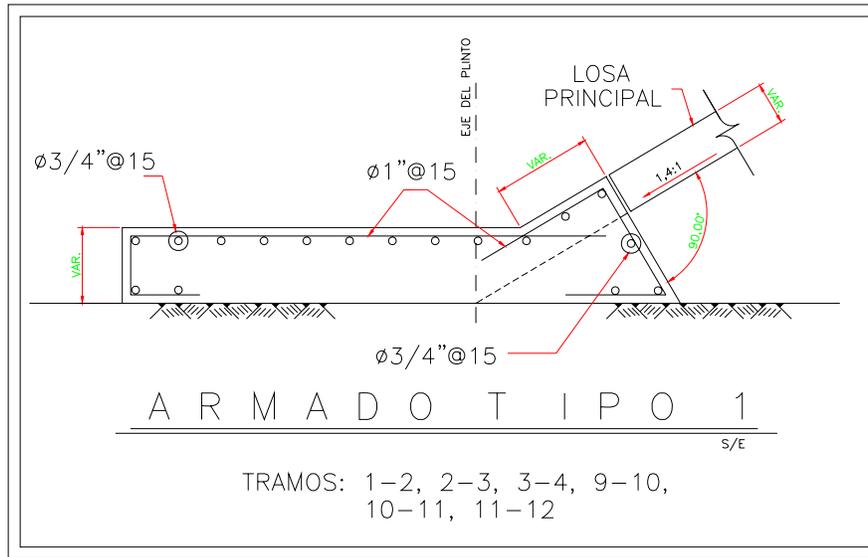
**Figura III.9.- Vista en planta del plinto**

El colado del plinto se iniciará al mismo tiempo tanto en la zona del cauce como en la zona de laderas. Para cada una de estas dos zonas se consideró un armado tipo proporcionado por la C. F. E.; por este motivo y siguiendo con las especificaciones se presentan a continuación los dos armados tipo utilizados para lo construcción del plinto: una para el cauce (figura III.10.), y otra para las laderas (figura III.11.).



**Figura III.10.- Plinto en zona de cauce**

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca



**Figura III.11.- Plinto en zona de laderas**

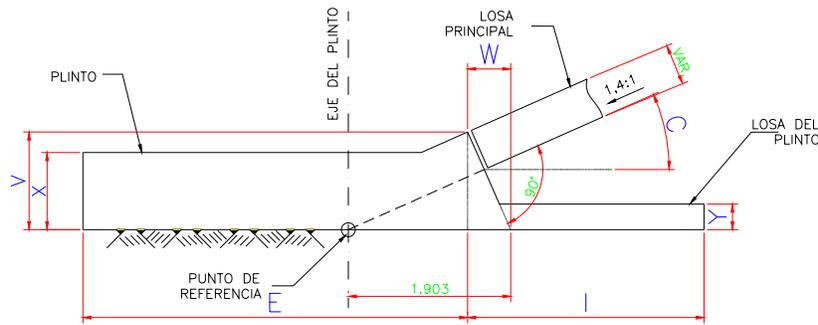
El plinto a lo largo de toda su extensión presentará diferentes dimensiones dentro de cada tipo de armado, esto se concibe así por las irregularidades que presentará el terreno a las diferentes elevaciones en que se desplantará esta estructura. En la siguiente tabla III.6. se muestran las correspondientes dimensiones del plinto por tramo y elevación; las variables utilizadas en esta tabla se definen posteriormente en la figura III.12., la cual es una sección tipo.

| DIMENSIONES DEL PLINTO |             |       |       |            |       |              |      |        |
|------------------------|-------------|-------|-------|------------|-------|--------------|------|--------|
| TRAMO                  | ELEVACIONES | V     | W     | ANCHO LOSA |       | ESPESOR LOSA |      | ÁNGULO |
|                        |             |       |       | E          | I     | X            | Y    | C      |
|                        | m           | m     | m     | m          | m     | m            | m    | GRADOS |
| 2-3                    | 576-545     | 1,072 | 0,519 | 4,50       | 0,00  | 0,70         | 0,00 | 25,847 |
| 3-4                    | 545-490     | 1,044 | 0,370 | 4,50       | 0,00  | 0,80         | 0,00 | 19,532 |
| 4-5                    | 490-440     | 0,877 | 0,111 | 4,50       | 5,00  | 0,80         | 0,30 | 7,238  |
| 5-5'                   | 440-400     | 1,284 | 0,375 | 5,50       | 11,00 | 1,00         | 0,30 | 16,281 |
| 5'-6                   | 400-375     | 1,380 | 0,403 | 7,00       | 13,00 | 1,00         | 0,40 | 16,272 |
| 6-7                    | 375         | 1,636 | 1,168 | 7,50       | 14,50 | 1,00         | 0,40 | 35,538 |
| 7-8                    | 375-390     | 1,580 | 1,046 | 5,50       | 10,00 | 1,00         | 0,40 | 33,513 |
| 8-8'                   | 390-440     | 1,162 | 0,368 | 4,50       | 6,00  | 1,00         | 0,30 | 17,591 |
| 8'-8"                  | 440-480     | 1,024 | 0,330 | 4,50       | 3,00  | 0,80         | 0,30 | 17,861 |
| 8"-9                   | 480-515     | 0,944 | 0,295 | 4,50       | 0,50  | 0,80         | 0,30 | 17,347 |
| 9-10                   | 515-533     | 1,119 | 0,578 | 4,50       | 0,00  | 0,80         | 0,00 | 27,308 |
| 10-11                  | 533-554     | 1,163 | 0,771 | 4,50       | 0,00  | 0,70         | 0,00 | 33,531 |
| 11-12                  | 554-576     | 1,036 | 0,527 | 4,50       | 0,00  | 0,70         | 0,00 | 26,960 |

NOTA: LAS DIMENSIONES DEL PLINTO SON CON SECCIONES NORMALES A SU EJE

**Tabla III.6.- Dimensiones del plinto**

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca



NOTA. SECCIONES NORMALES A SU EJE

**Figura III.12.- Sección tipo**

Sabiendo que el plinto en la zona del cauce del río es crítico para la construcción de la ataguía integrada y las losas de arranque de la cara de concreto hasta la elevación 400 msnm, se realizó un análisis para su construcción en esta zona; cabe destacar que en este análisis no se presentan las inyecciones para la pantalla de impermeabilización ya que estas se realizarán simultáneas a la colocación de materiales; el análisis mencionado se muestra a continuación:

**Excavación**

Considerando un rendimiento de retiro de material con retroexcavadora de 82 m<sup>3</sup>/hr, se tienen:

|                        |                       |                             |                |
|------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------|
| Volumen                | Rendimiento           | Tiempo de la actividad      |                |
| 111,928 m <sup>3</sup> | 82 m <sup>3</sup> /hr | 1365 hr = 68 días           |                |
|                        |                       | Con dos frentes de trabajo: | <b>34 días</b> |

**Limpieza y Concreto de Reposición**

|  |         |                |
|--|---------|----------------|
| Para un tramo de plinto de 25 m de longitud se consideran: | 3 días  |                |
| Por lo que para una longitud de 169.17 m se tendrán:       | 20 días |                |
| Con dos frentes de trabajo:                                |         | <b>10 días</b> |

**Anclaje en Losa de Plinto**

Considerando un rendimiento de colocación de anclas de 12 m/hr, se tienen:

|            |             |                             |               |
|------------|-------------|-----------------------------|---------------|
| Longitud   | Rendimiento | Tiempo de la actividad      |               |
| 1,159.74 m | 12 m/hr     | 97 hr = 5 días              |               |
|            |             | Con dos frentes de trabajo: | <b>2 días</b> |

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

**Acero de Refuerzo**

Volumen  
323.95 Ton  
Se considera un rendimiento de 300 kg / pareja / turno;  
Bajo esta premisa se propone que se utilizarán 10 parejas.

Por lo tanto, el rendimiento diario obtenido es:

$$300 \text{ kg} \times 10 \text{ parejas} \times 2 \text{ turnos} \times 0.8 = 4800 \text{ Kg/día}$$

0.8 = Factor de tiempos perdidos

$$\text{Entonces } \frac{323950 \text{ Kg}}{4800 \text{ Kg/día}} = 67 \text{ días}$$

Con dos frentes de trabajo: **34 días**

**Cimbrado, Boquillas y Sellos**

Se considera un rendimiento de cimbrado de 10 m/día

| Longitud | Rendimiento |         |
|----------|-------------|---------|
| 169.17 m | 10 m/día    | 17 días |

Para las boquillas y sellos se considerarán 1.5 días  
por tramo de 25 m, por lo que se tienen:

$$\frac{10 \text{ días}}{27 \text{ días}}$$

Con dos frentes de trabajo: **14 días**

**Concreto**

Volumen aproximado:  
2,090.00 m<sup>3</sup>

*Colado* Puesto que el colado no es crítico, se plantea que lleve un desfase de 5 días con respecto al acero de refuerzo, por lo que el tiempo a considerar en esta actividad dependerá del tiempo en el que se realizará el último colado del plinto en el cauce:

**5 días**

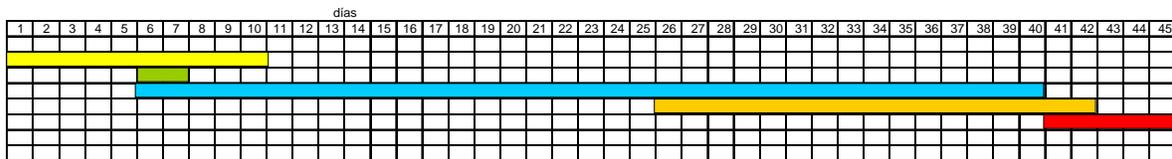
NOTA: Los rendimientos fueron supuestos, se tomó como referencia los indicados para el P. H. El Cajón.

Como resultado de todo el análisis anterior se obtuvieron los tiempos de ejecución de los diferentes trabajos a realizarse para la conformación del plinto en el cauce, y por

ende, la duración total de la construcción del plinto en esta zona, esto sin considerar los tiempos de excavación pues se analizarán por separado (figura III.13).

**Tiempos de Construcción de Plinto en Cauce**

- 10 días  Limpieza y Concreto de Reposición
- 2 días  Anclaje en losa de plinto
- 34 días  Acero de refuerzo
- 14 días  Cimbrado, Boquillas y Sellos
- 5 días  Concreto



**Figura III.13.- Duración de la construcción del plinto en el cauce**

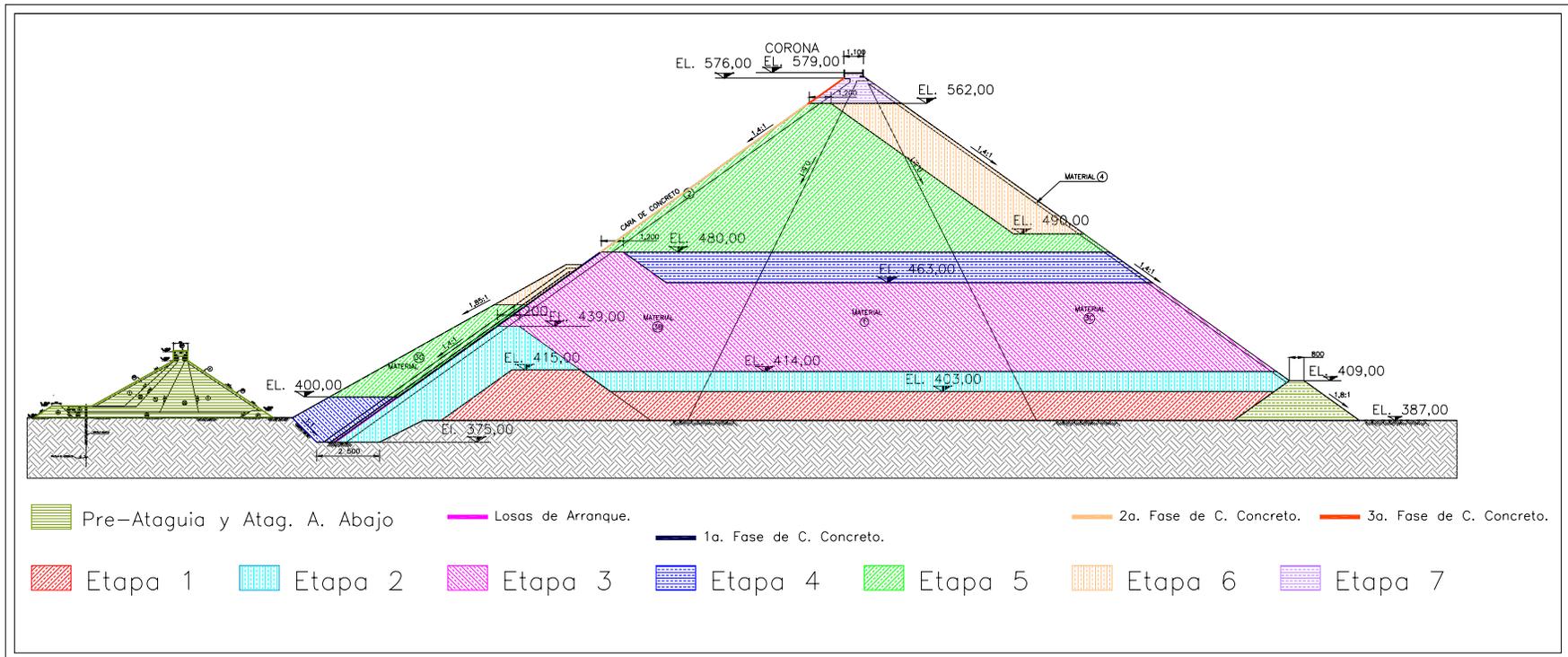
Como puede observarse en la figura III.13. se requieren 45 días para la construcción del plinto en el cauce, desde la limpieza y el concreto de reposición hasta el colado del plinto; por lo tanto, si se considera un volumen de concreto de 2,090 m<sup>3</sup> se tendrá un rendimiento promedio, para dos frentes de trabajo, de 46 m<sup>3</sup>/día. Por otro lado, para la excavación del plinto se obtuvieron 34 días con dos frentes de excavación, lo que da un rendimiento promedio por frente de 1,646 m<sup>3</sup>/día para un volumen de 111,928 m<sup>3</sup>.

**COLOCACIÓN DE MATERIALES EN CORTINA**

En el programa general de construcción se tiene contemplada una duración total de 41 meses para la construcción de la cortina, lo cual incluye: excavaciones, tratamientos, colocación de materiales y concretos. Estas dos últimas actividades, solas, tienen una duración de 33 meses y un volumen de material a colocar en cortina, incluyendo la ataguía integrada y materiales sobre la cara de concreto, de 12'278,550 m<sup>3</sup> desde la elevación 375 msnm. Se ha propuesto que esta colocación de materiales en cortina se realice en 7 etapas (figura III.14.); de las cuales las dos primeras corresponden a las etapas uno y dos de la ataguía integrada en las que también se colocan materiales en la cortina desde la elevación 387 msnm hasta la elevación 414 msnm.

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

A continuación en la figura III.14. se muestra un esquema con las 7 etapas de colocación de materiales en cortina y con las 4 etapas de deslizado de las losas que conforman la cara de concreto:



**Figura III.14.- Etapas de construcción de la cortina**

Como puede observarse en la figura III.14. el procedimiento de construcción de la cortina está planeado para tener una colocación de materiales continua, es decir, se colocará material aún durante las fases de construcción de la cara de concreto.

Como ya se describió anteriormente, durante las etapas uno y dos de colocación de materiales en ataguía integrada, también se estará colocando enrocamiento en la cortina. En estas dos primeras etapas de cortina se colocará un total de 1'131,257 m<sup>3</sup> de material, correspondiendo 538,698 m<sup>3</sup> a la primera etapa y 592,559 m<sup>3</sup> a la segunda etapa, desde el desplante a la elevación 387 msnm y llegando hasta las elevaciones 403 msnm y 414 msnm respectivamente.

Las losas de arranque de la cara de concreto, desde la elevación 375 msnm hasta la elevación 400 msnm, comenzará simultáneamente a la etapa tres de colocación de materiales en cortina, la cual iniciará inmediatamente después de terminada la etapa número dos. Esta tercera etapa comprende la colocación de materiales desde la elevación 414 msnm hasta la elevación 463 msnm en la zona aguas abajo del cuerpo de la cortina y 480 msnm en la zona por debajo de la cara de concreto. En esta etapa se colocarán 3'672,685 m<sup>3</sup> y tendrá una duración de 8.5 meses.

Durante la etapa cuatro se realizará la 1ª fase de deslizado de la cara de concreto, desde la elevación 400 msnm hasta la elevación 480 msnm. La colocación de materiales en esta etapa llegará igual hasta la elevación 480 msnm a todo lo largo de la cortina y se iniciará colocando materiales 1B, 3H y 3G sobre la cara de concreto. El volumen de material a colocar solamente en la cortina será de 1'191,190 m<sup>3</sup> en poco menos de dos meses y medio; es por esto que en esta etapa cuatro se alcanzarán los rendimientos máximos de colocación de materiales en la obra de contención.

En la quinta etapa se colocará un volumen de 3'611,909 m<sup>3</sup> en aproximadamente 8.5 meses. Arrancará al final de la etapa cuatro desde la elevación 480 msnm y finalizará cinco metros arriba de la cresta del cimacio, a la elevación 562 msnm, en la zona por debajo de la cara de concreto; mientras que en la zona aguas abajo se llegará a la elevación 490 msnm.

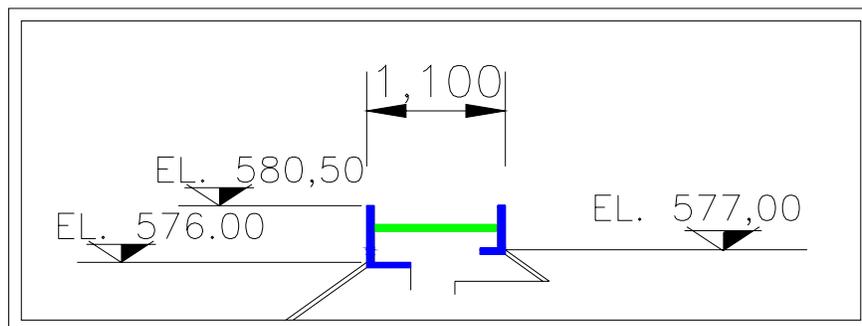
La etapa seis se realizará en sólo 3.5 meses, ya que es el tiempo necesario para construir la 2ª fase de deslizado de la cara de concreto desde la elevación 480 msnm hasta la elevación 562 msnm. Una vez colada la cara de concreto hasta esta elevación es posible efectuar el cierre de los túneles de desvío sin correr riesgos, ya que en caso

de que no se haya concluido con la construcción de la cortina y el nivel de agua haya alcanzado la elevación del cimacio, el cual se encuentra a cinco metros por debajo del término de esta tercera fase de deslizado, se podrá utilizar la obra de excedencias para derramar el volumen de agua excedente (la obra de excedencias deberá estar ya concluida). Al final de esta etapa se alcanzará la elevación 562 msnm en la zona de aguas debajo de la cortina y se habrá colocado un volumen de material de 1'106,895 m<sup>3</sup> desde la elevación 490 msnm.

Finalmente en la última etapa de colocación de materiales, la etapa siete, se colocarán 424,610 m<sup>3</sup> de material en prácticamente dos meses y así terminar con esta actividad el 20 de julio del 2011; esta etapa parte desde la elevación 562 msnm y alcanza la corona de la cortina a la elevación 579 msnm.

Al término de la etapa siete se realizará la 3ª fase de deslizado de la cara de concreto (el cierre), desde cinco metros arriba del cimacio hasta la elevación 576 msnm. Su duración será de dos meses para finalizar el 20 de septiembre de 2011.

La construcción de la cortina concluirá con la última fase de deslizado de la cara de concreto y la construcción del parapeto, los cuales se realizarán de forma simultanea; sin embargo el parapeto, con un rendimiento aproximado de 10.38 m/día, una longitud de 629 m de margen a margen y un volumen de concreto de 4,965 m<sup>3</sup> (figura III.15.), llevará 2.6 meses para su realización; tomando en cuenta esto último, el parapeto concluirá poco tiempo después de la terminación de la cara de concreto, el 6 de octubre del 2011, fecha en la cual se finalizará también con la construcción de toda la cortina.



**Figura III.15.- Sección transversal del parapeto**

HISTOGRAMA DE COLOCACIÓN DE MATERIALES PARA LA OBRA DE CONTENCIÓN

En la figura III.16. se muestra el histograma de colocación de materiales a lo largo de las diferentes etapas en ataguías y cortina, en él se puede observar también como al inicio de esta colocación se tiene una curva de aprendizaje con producciones mensuales bajas, y que aproximadamente a la mitad de la duración de los trabajos en la obra de contención se alcanzarán picos de colocación de hasta 517,000 m<sup>3</sup>/mes; después de estos picos la producción empezará a disminuir de acuerdo a las necesidades específicas del proyecto.

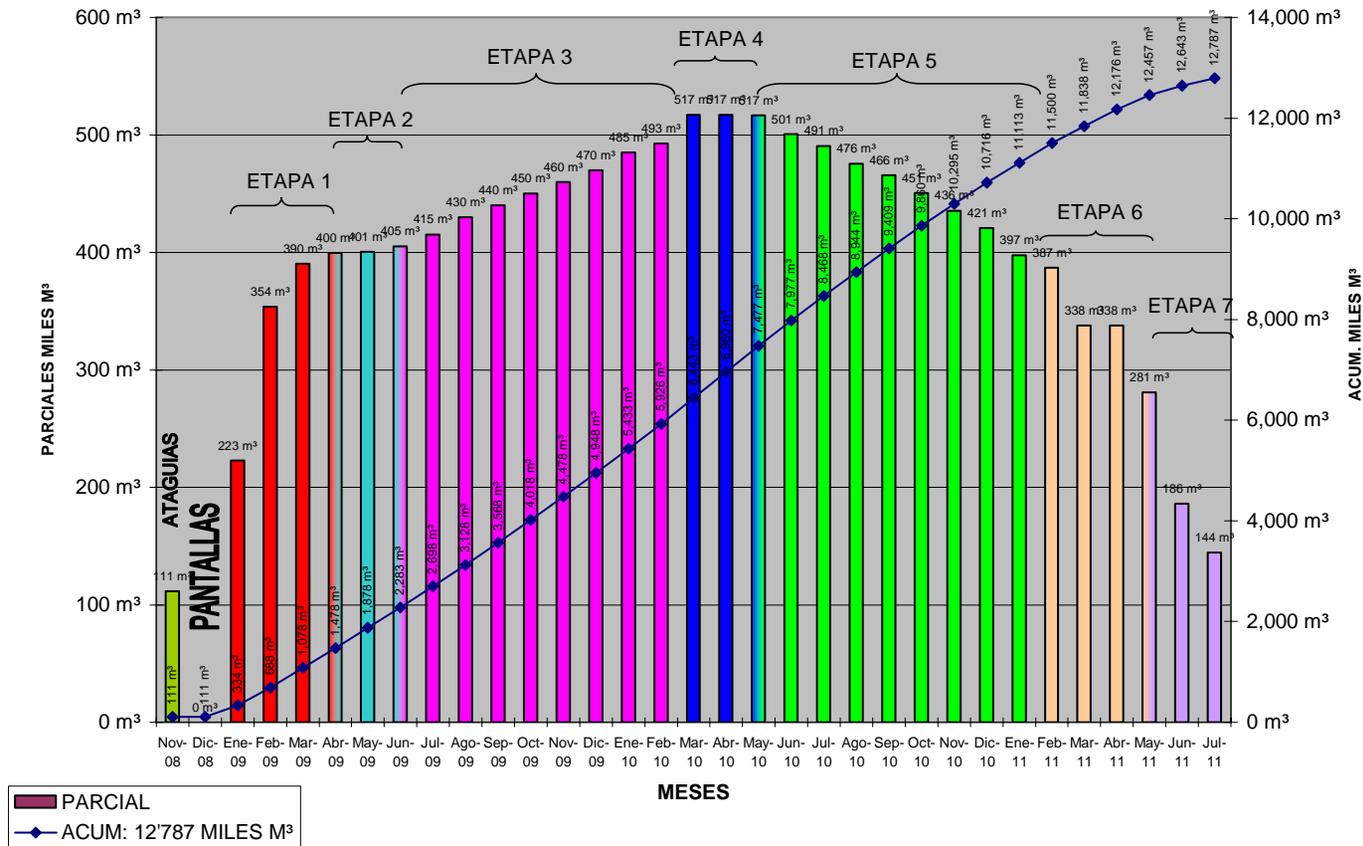


Figura III.16.- Histograma de colocación de materiales en ataguías y cortina

## MANEJO DE MATERIALES EN CORTINA

### Material 3B (Aluvión)

Este material provendrá de los bancos de aluvión designados por la C. F. E., tanto del lecho como de las riberas de los ríos Santiago y Bolaños. El material será cargado por medio de retroexcavadoras CAT 385 B y/o similar, dragas y/o cargadores CAT 966 GII y/o similar, se trasladará sobre camiones de volteo de 7 y 14 m<sup>3</sup> que lo transportan hasta la zona de colocación, se descargará en el sitio de su utilización y se realizará el proceso de humectación con una pipa de 10,000 lt.

Posteriormente con tractores sobre orugas CAT D8R y/o similar se extenderá el material al espesor de capa especificado (80 cm.); una vez conformada y humectada la capa, se iniciará el proceso de compactación aplicando seis pasadas con el compactador mixto liso CAT CS-563D 10 Ton.

### Materiales 3C, 3G, 3H, T y 4 (Roca)

Estos materiales provendrán de las excavaciones de las diferentes estructuras del proyecto, tanto subterráneas como exteriores. La carga de material se realizará con cargadores sobre llantas tipo CAT 992 D y/o similar y se transportará con camiones fuera de carretera tipo CAT 775 D y/o similar.

El material 3C, 3G y 3H se tenderá en capas de 60 cm después de un proceso de selección, para lo cual se tiene previsto utilizar un tractor sobre orugas CAT D8R y/o similar, y se compactará pasando cuatro veces el compactador mixto de rodillo liso CAT CS-563D 10 Ton.

El enrocamiento sano o aluvión con tamaño máximo de 80 cm será considerado material T. Antes de ser compactado con seis pasadas del compactador mixto arriba mencionado, se colocará en capas de 100 cm. Se le agregará agua con una pipa de agua de 10,000.0 lt.

El material 4 estará conformado por fragmentos sanos de roca con tamaño mayor a 1.00 m; será sobrante de la selección del material 3C. Se empacará y acunará tratando siempre de que sus caras mayores queden apoyadas horizontalmente.

#### Materiales 2 y 2F (Aluvión procesado)

Estos materiales también se obtendrán de los playones de aluvión designados por la C.F.E., el material será cargado por medio de retroexcavadoras CAT 385 B y/o similar, dragas y/o cargadores CAT 966 GII y/o similar, se transportará sobre camiones de volteo de 7 y 14 m<sup>3</sup> que lo llevarán hasta la plantas de trituración en la margen derecha, donde será procesado para lograr la granulometría requerida.

Por las características de granulometría y espesor de capa, así como por el ancho de la franja de material 2 bajo la cara de concreto (6m), se consideró que para el acarreo de este material se utilizarán camiones de volteo de 7 y 14 m<sup>3</sup>, ó eventualmente con camiones articulados CAT 730 y/o similar de menor capacidad y menores dimensiones que faciliten las actividades de descarga y maniobras en el sitio de colocación. El material será cargado en forma directa de la planta de estabilizado a los camiones y cuando esto no se cumpla, con cargador frontal sobre neumáticos, directamente del acopio de material estabilizado. Una vez descargado el material en el sitio de colocación se extenderá por medio de tractores sobre orugas CAT D6R y/o similar con el espesor de capa especificado (30 cm). Por la importancia de esta zona de la presa, se mejorará la conformación de cada capa extendiendo también por medio de motoniveladora CAT 140 H y/o similar con el fin de eliminar irregularidades en la superficie por compactar.

#### Material 1B (Limo)

El material 1B se utilizará como protección sobre la cara de concreto; es material arenoso que disipará la presión hidrostática de las juntas de unión entre el plinto y las losas de la cara de concreto. Sobre el material 1B se deberá colocar una protección para evitar la erosión del mismo, dicha protección es de material 3H conformado por roca. El manejo de este limo (material 1B) será el mismo procedimiento descrito anteriormente para el uso del material N en las ataguías.

## CONSTRUCCIÓN DE LAS LOSAS DE LA CARA DE CONCRETO

La cara de concreto tiene un volumen de 57,094 m<sup>3</sup> de concreto y estará dividida en paneles de 13 m de ancho. La construcción de los paneles o losas consiste en que el colado de éstas se realice de manera alternada; es decir, las losas principales serán las primeras en colarse mediante cimbra deslizante desde la parte más baja hacia arriba, y una vez que se hayan terminado de colar, se comenzará con la instalación del equipo para las losas secundarias, las cuales no necesitarán cimbra en los costados pues ya existirán las primarias, por lo que el tiempo de cimbrado será menor.

En el análisis para la secuencia constructiva de las losas de la cara de concreto, que a continuación se presenta, se tomaron las siguientes consideraciones: las preparaciones para los colados de las losas tardarán 2 semanas en cada fase de deslizado, en la construcción de cada una de las losas se realizará la instalación con un rendimiento de 8 hrs por cada 50 m de colado, la movilización del equipo de deslizado con un rendimiento de 12 hrs por cada 50 m de colado y el deslizado con un rendimiento de 2 m de colado por hora, esto por un frente de trabajo. En el caso de considerar 2 frentes se realizará el análisis de cada frente y se tomará el de mayor tiempo de ejecución. A continuación se muestran tablas con el análisis antes mencionado:

Losas de Arranque (1 Frente)  
Ciclo de deslizado por Losa

| Elevación                   |          | Talud        | Long. Deslizado Max. (m) |             | Long. Deslizado Med. (m) |             |
|-----------------------------|----------|--------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Superior                    | Inferior |              | 43.01                    |             | 21.51                    |             |
| 400                         | 375      | 1.4:1        | No. Losas Máx. 1 Frente  |             | No. Losas Med. 1 Frente  |             |
| Actividad                   |          | Rendimientos | Principales              | Secundarias | Principales              | Secundarias |
| Instalación                 |          | 8 hr @ 50 m  | 34.41                    | 5           | 6.88                     | 2           |
| Movilización                |          | 12 hr @ 50 m | 51.61                    | 25.81       | 10.32                    | 5.16        |
| Deslizado                   |          | 2.0 m/hr     | 107.53                   | 107.53      | 21.51                    | 21.51       |
| Subtotal de tiempo en hrs.= |          |              | 193.55                   | 133.33      | 38.71                    | 26.67       |

| Actividad                    | Frente 1 |         |
|------------------------------|----------|---------|
|                              | Losas    | Semanas |
| Instalaciones                |          | 2.0     |
| Losas Principales (Nones)    | 7        | 2.00    |
| Losas Secundarias (Pares)    | 7        | 1.38    |
| Subtotal (semanas)           | 14       | 5.38    |
| Tiempo en meses              |          | 1.23    |
| Factor por arranque de losas | 1.02     | 1.26    |
| Tiempo TOTAL (meses) 1a Fase |          | 1.26    |

**Tabla III.7.- Duración en meses de las losas de arranque de la cara de concreto**

**Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca**

1a Fase (2 Frentes)  
Ciclo de deslizado por Losa

| Elevación                   |          | Talud        | Long. Deslizado Max. (m) |             | Long.Deslizado Med. (m) |             | Long. Deslizado Max. (m) |             | Long.Deslizado Med. (m) |             |
|-----------------------------|----------|--------------|--------------------------|-------------|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| Superior                    | Inferior |              | 137.64                   |             | 68.82                   |             | 137.64                   |             | 68.82                   |             |
| 480                         | 400      | 1.4:1        | No. Losas Máx. Frente 1  |             | No. Losas Med. Frente 1 |             | No. Losas Máx. Frente 2  |             | No. Losas Med. Frente 2 |             |
| Actividad                   |          | Rendimientos | Principales              | Secundarias | Principales             | Secundarias | Principales              | Secundarias | Principales             | Secundarias |
|                             |          |              | 3                        | 3           | 3                       | 3           | 3                        | 3           | 2                       | 2           |
| Instalación                 |          | 8 hr @ 50 m  | 66.07                    |             | 33.03                   |             | 66.07                    |             | 22.02                   |             |
| Movilización                |          | 12 hr @ 50 m | 99.10                    | 49.55       | 49.55                   | 24.78       | 99.10                    | 49.55       | 33.03                   | 16.52       |
| Deslizado                   |          | 2.0 m/hr     | 206.46                   | 206.46      | 103.23                  | 103.23      | 206.46                   | 206.46      | 68.82                   | 68.82       |
| Subtotal de tiempo en hrs.= |          |              | 371.63                   | 256.01      | 185.81                  | 128.01      | 371.63                   | 256.01      | 123.88                  | 85.34       |

| Actividad                    | Frente 1 |         | Frente 2 |         |
|------------------------------|----------|---------|----------|---------|
|                              | Losas    | Semanas | Losas    | Semanas |
| Instalaciones                |          | 2.0     |          | 2.0     |
| Losas Principales (Nones)    | 6        | 4.81    | 5        | 4.27    |
| Losas Secundarias (Pares)    | 6        | 3.31    | 5        | 2.94    |
| Subtotal (semanas)           | 12       | 10.12   | 10       | 9.21    |
| Tiempo en meses              |          | 2.32    |          | 2.11    |
| Tiempo TOTAL (meses) 2a Fase |          | 2.32    |          |         |

**Tabla III.8.- Duración en meses de la primera fase de deslizado de la cara de concreto**

2a Fase (2 Frentes)  
Ciclo de deslizado por Losa

| Elevación                   |          | Talud        | Long. Deslizado Max. (m) |             | Long.Deslizado Med. (m) |             | Long. Deslizado Max. (m) |             | Long.Deslizado Med. (m) |             | Long.Deslizado Med. (m) |             | Long.Deslizado Min. (m)   |          |
|-----------------------------|----------|--------------|--------------------------|-------------|-------------------------|-------------|--------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|-------------|---------------------------|----------|
| Superior                    | Inferior |              | 141.08                   |             | 70.54                   |             | 141.08                   |             | 70.54                   |             | 35.27                   |             | 3.00                      |          |
| 562                         | 480      | 1.4:1        | No. Losas Máx. Frente 1  |             | No. Losas Med. Frente 1 |             | No. Losas Máx. Frente 2  |             | No. Losas Med. Frente 2 |             | No. Losas Min. Frente 2 |             | No. Losas Min. Por Frente |          |
| Actividad                   |          | Rendimientos | Principales              | Secundarias | Principales             | Secundarias | Principales              | Secundarias | Principales             | Secundarias | Principales             | Secundarias | Frente 1                  | Frente 2 |
|                             |          |              | 5                        | 5           | 3                       | 3           | 5                        | 5           | 3                       | 3           | 4                       | 2           | 1                         | 1        |
| Instalación                 |          | 8 hr @ 50 m  | 112.86                   |             | 33.86                   |             | 112.86                   |             | 33.86                   |             | 22.57                   |             | 0.48                      | 0.48     |
| Movilización                |          | 12 hr @ 50 m | 169.30                   | 84.65       | 50.79                   | 25.39       | 169.30                   | 84.65       | 50.79                   | 25.39       | 33.86                   | 8.46        | 0.72                      | 0.72     |
| Deslizado                   |          | 2.0 m/hr     | 352.70                   | 352.70      | 105.81                  | 105.81      | 352.70                   | 352.70      | 105.81                  | 105.81      | 70.54                   | 35.27       | 1.50                      | 1.50     |
| Subtotal de tiempo en hrs.= |          |              | 634.86                   | 437.35      | 190.46                  | 131.20      | 634.86                   | 437.35      | 190.46                  | 131.20      | 126.97                  | 43.73       | 2.70                      | 2.70     |

| Actividad                    | Frente 1 |         | Frente 2 |         |
|------------------------------|----------|---------|----------|---------|
|                              | Losas    | Semanas | Losas    | Semanas |
| Instalaciones                |          | 2.0     |          | 2.0     |
| Losas Principales (Nones)    | 9        | 7.14    | 13       | 8.23    |
| Losas Secundarias (Pares)    | 8        | 4.90    | 10       | 5.28    |
| Subtotal (semanas)           | 17       | 14.04   | 23       | 15.51   |
| Tiempo en meses              |          | 3.22    |          | 3.56    |
| Tiempo TOTAL (meses) 3a Fase |          | 3.56    |          |         |

**Tabla III.9.- Duración en meses de la segunda fase de deslizado de la cara de concreto**

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

3a Fase (Cierre) (1 Frente)

Ciclo de deslizado por Losa

| Elevación                   |          | Talud        | Long. Deslizado Max. (m) |             | Long. Deslizado Med. (m) |             |
|-----------------------------|----------|--------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
| Superior                    | Inferior |              | 24.09                    |             | 12.05                    |             |
| 576                         | 562      | 1.4:1        | No. Losas Máx. 1 Frente  |             | No. Losas Med. 1 Frente  |             |
| Actividad                   |          | Rendimientos | Principales              | Secundarias | Principales              | Secundarias |
| Instalación                 |          | 8 hr @ 50 m  | 73.23                    |             | 0.00                     |             |
| Movilización                |          | 12 hr @ 50 m | 109.85                   | 57.82       | 0.00                     | 2.89        |
| Deslizado                   |          | 2.0 m/hr     | 228.86                   | 240.90      | 0.00                     | 12.05       |
| Subtotal de tiempo en hrs.= |          |              | 411.94                   | 298.72      | 0.00                     | 14.94       |

| Actividad                    | Frente 1 |         |
|------------------------------|----------|---------|
|                              | Losas    | Semanas |
| Instalaciones                |          | 2.0     |
| Losas Principales (Nones)    | 19       | 3.55    |
| Losas Secundarias (Pares)    | 22       | 2.70    |
| Subtotal (semanas)           | 41       | 8.26    |
| Tiempo en meses              | 1.89     |         |
| Tiempo TOTAL (meses) 1a Fase | 1.89     |         |

**Tabla III.10.- Duración en meses de la fase de cierre de la cara de concreto**

Del análisis anterior se obtuvieron los tiempos de ejecución de cada una de las fases de deslizado de la cara de concreto, teniendo lo siguiente:

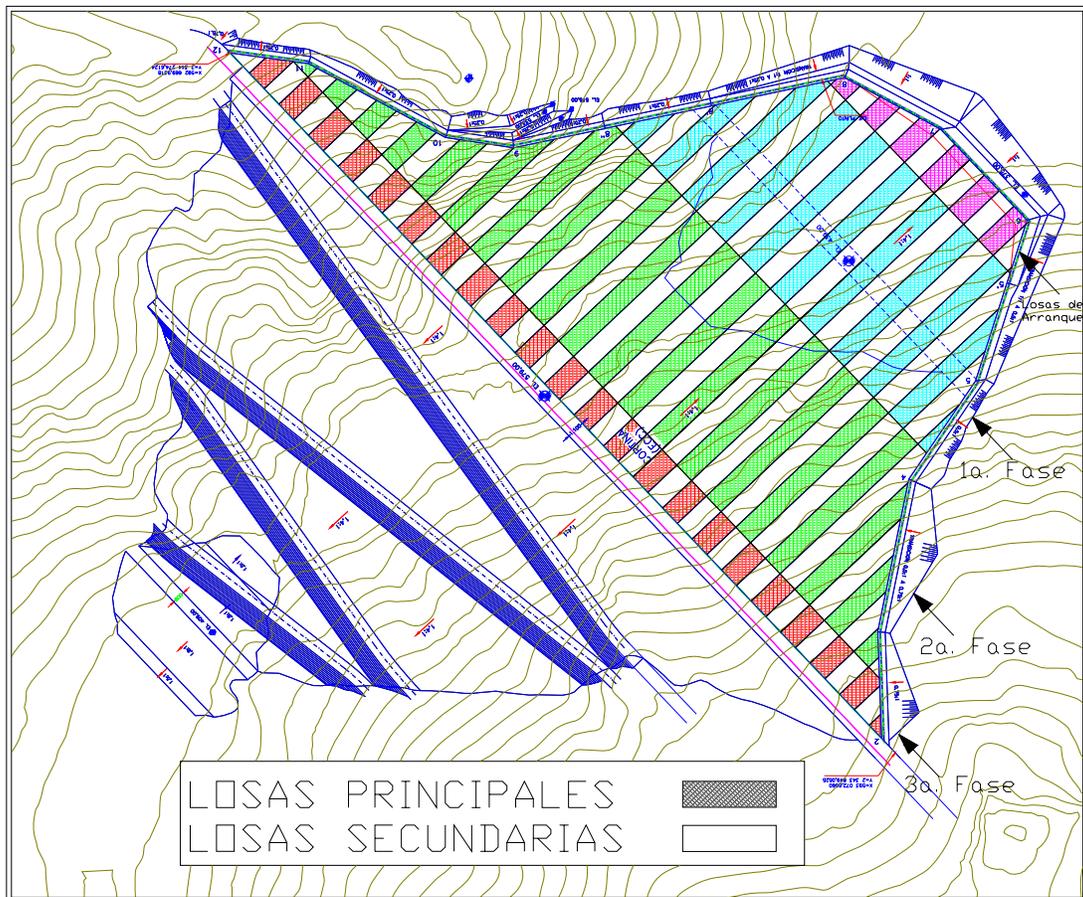
- Losas de arranque.- del desplante de la cara de concreto, elevación 375 msnm, hasta la elevación 400 msnm la duración por un frente de trabajo es de 1.26 meses, esto es del 19 de junio al 25 de julio del 2009.
- Primera fase.- de la elevación 400 msnm hasta la elevación 480 msnm la duración por dos frentes de trabajo es de 2.32 meses, del 1 de marzo al 9 de mayo del 2010.
- Segunda fase.- de la elevación 480 msnm hasta la elevación 562 msnm la duración por dos frentes de trabajo es de 3.56 meses, iniciando el 15 de febrero y terminando el 31 de mayo del 2011.
- Tercera fase (Cierre).- de la cota de seguridad elevación 562 msnm (5 m arriba de la cresta del cimacio), hasta el parapeto elevación 576 msnm se tiene una

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

duración de 1.89 meses por un frente de trabajo, esto es aproximadamente del 20 de julio al 20 de septiembre del 2011.

Al concluir la última etapa de colocación de materiales en cortina (etapa siete), se iniciará la tercera fase de deslizado de las losas de la cara de concreto (cierre final); con esta última fase y con la terminación del parapeto, el cual llegará hasta la elevación 580.50 msnm, todos los trabajos requeridos para la construcción de la obra de contención quedarán concluidos el 6 de octubre del 2011.

A continuación en la figura III.17. se muestran las fases del deslizado de la cara de concreto vistas en planta:



**Figura III.17.- Fases de deslizado de la cara de concreto**



## **IV. OPTIMIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**

*En este capítulo se presentará un procedimiento de construcción optimizado tanto de la obra de contención como de la obra de excedencias, en el cual los volúmenes de material a almacenar, los volúmenes de desperdicio y los sobrantes de enrocamiento han sido reducidos al máximo, como se podrá demostrar más adelante al compararlos con el procedimiento de construcción de una alternativa anterior; esto después de haber conocido las necesidades totales de material en el proyecto, definir a detalle las existencias totales de material proveniente de las diferentes estructuras pero sobre todo del vertedor, y realizar un balance de materiales analizando las necesidades de roca en la obra de contención y las existencias de material aprovechable.*

### **IV.1. Generalidades**

Como ya se ha dicho antes, para construir la obra de excedencias en el P. H. La Yesca se requiere excavar una gran cantidad de material que puede ser reutilizado como relleno en otras estructuras; pensando en esto es que se ha propuesto construir la obra de contención con el enrocamiento producto de las excavaciones en el vertedor, y así evitar las excavaciones de otros bancos de roca.

Sin embargo, los recientes estudios geotécnicos realizados en la margen izquierda del proyecto arrojaron que el material localizado en la parte alta de la ladera, de la elevación 625 msnm a la cima, es material de muy mala calidad que no podrá ser utilizado como relleno en la obra de contención y habrá que colocarlo en zonas de desperdicio destinadas para tal fin; por otro lado, se determinó que el material encontrado por debajo de esta elevación, a la altura de donde se ha pensado estará el desplante de la obra de excedencias, es material de buena calidad que podrá ser considerado como enrocamiento para la cortina.

Debido al gran porcentaje de material considerado desperdicio (aproximadamente el cuarenta por ciento del total de la excavación en el vertedor), y a que el inicio de la colocación de materiales en la cortina estará desfasada aproximadamente once meses del comienzo de los trabajos en la obra de desvío, se ha propuesto que en todo el primer año del proyecto se procure excavar el material de mala calidad que no servirá en la obra de contención y empezar a producir roca cuando lo requiera el inicio de la colocación de materiales en cortina; con esto se evitará el almacenamiento de grandes volúmenes de roca en estos primeros meses y además, a lo largo del periodo de colocación de materiales en cortina se aprovechará mejor, y durante más tiempo, la duración de la extracción de roca producto de las excavaciones en el vertedor.

Procurar el suministro constante de material de buena calidad proveniente del vertedor a lo largo de la colocación de materiales en cortina implicará realizar una planeación tal que garantice la buena sincronización entre las necesidades de enrocamiento en la obra de contención y los volúmenes de roca producto de las excavaciones en la obra de excedencias.

Con una adecuada planeación se podrá cumplir también con los tiempos de ejecución necesarios de los concretos y montajes respectivos para que estén terminados antes de la fecha del cierre definitivo de los túneles de desvío; así como cumplir que la cortina se encuentre cinco metros arriba de la elevación del cimacio.

Tomando en cuenta la planeación estratégica anterior y al arranque del proyecto, el inicio de los trabajos en los diferentes frentes se dará el 17 de septiembre del 2007 con la movilización y la construcción de caminos de acceso, definitivos y de construcción.

## **IV.2. Vialidades**

Con el fin de optimizar el procedimiento constructivo de las obras de excedencias y de contención del P. H. La Yesca se inició con el análisis y el desarrollo de la planeación estratégica de los arreglos de la presa. Como primera etapa de esta planeación se propuso construir cuatro tipos de vialidades distintas para acceder a los diferentes frentes de trabajo contemplados en el programa de construcción. Dependiendo de la función que estos caminos habrán de desempeñar dentro del proyecto se han definido como los siguientes: caminos de acceso, caminos definitivos, caminos de construcción y caminos auxiliares.

### **IV.2.1. Caminos de Acceso**

Son aquellas vialidades cuya finalidad es comunicar el proyecto con las poblaciones más cercanas y por los cuales empezarán a entrar los equipos con los cuales se dará posteriormente pie a la apertura de los diferentes frentes. Las pendientes previstas para estos caminos serán del 10 al 15%, con anchos de calzada de 24 m, así como habrá que pavimentarlos a todo lo largo.

El camino planeado por el cual se accederá al P. H. La Yesca desde las diferentes poblaciones será el descrito como:

#### CA-H-MF

Camino de acceso que parte del poblado de Hostotipaquillo y llega hasta la comunidad de Mesa de Flores, tiene una longitud de 20.45 km.

#### **IV.2.2. Caminos Definitivos**

Son las vialidades que la Comisión requiere para operar la central hidroeléctrica durante su ciclo de vida y cuando el proyecto esté terminado, las características técnicas las proporcionará este mismo organismo. Dentro del proyecto servirán también para que en las diferentes fases de construcción de las estructuras los equipos necesarios tengan acceso a los frentes de trabajo.

##### CD-MF-580

Al término del proyecto, este camino definitivo será el camino de entrada a la C. H. La Yesca, partiendo de Mesa de Flores hasta la berma a la elevación 580 msnm, y posteriormente por el puente que cruza el canal de descarga del vertedor. De este camino se desprenden diferentes caminos auxiliares a bermas y poder llegar a las diferentes etapas de construcción; entre estos caminos están: CA-B745, CA-B670, CA-B640 y CA-B625.

##### CD-CMF-EM

Este camino definitivo se aprovechará para realizar las excavaciones de la obra de excedencias en la parte alta de la ladera de la margen izquierda, en específico la berma a la elevación 700 msnm, por la que pasa. Este mismo camino continúa hasta llegar a El Manguito, aguas abajo de la cortina, donde existirán plantas de trituración y talleres.

#### **IV.2.3. Caminos de Construcción**

Son las vialidades principales del proyecto que tendrán un ancho de calzada de 12 m y pendientes máximas del 10 %. Estos caminos son de carácter temporal, es decir; se

usarán solamente durante el ciclo de construcción del mismo. Sus características se establecen así por las necesidades geométricas de los equipos que transitarán en ellos y para satisfacer las demandas de producción del proyecto.

CC-580-CLL

Este camino de construcción será para acceder al canal de llamada del vertedor; parte del camino CD-MF-580 a la elevación 580 msnm. De este mismo punto parte el camino CC-580-600.

CC-580-600

Camino de construcción rumbo a los bancos de desperdicio a la elevación 600 msnm.

CC-CLL-475

Como la mayor parte del material extraído del canal de llamada será aprovechable en la cortina, este camino parte de este canal de llamada hasta la intersección con el camino CC-475-CAAB, que a su vez conecta con el camino CC-580-AAB para llegar a aguas abajo de la cortina. De este camino también parte CC-525 a otra elevación de los bancos de desperdicio.

CC-475-AAB

Este camino servirá para conectar el camino que baja del canal de llamada en la elevación 475 msnm y al camino que llega a la ataguía aguas abajo. De este camino parte también el camino CC-475-450 a una nueva elevación de los bancos de desperdicio.

CC-475-450 y CC-525

Camino diseñados para diferentes elevaciones de los bancos de desperdicios.

#### CC-580-AAB

Con este camino de construcción se depositará todo el material aprovechable que salga de la plataforma a la elevación 580 msnm en la ataguía aguas abajo y en la cortina. De este camino parte el camino CC-AAB-AAR, que corre por el cauce del río sobre la margen izquierda.

#### CC-EM-580

Este camino parte de El Manguito y conecta con la plataforma a la elevación 580 msnm por la parte de canal de descarga. De este parte un camino de acceso CA-425-475, que parte de la elevación 425 msnm, pasa por la rápida del vertedor y que se integra al camino CC-580-AAB en la elevación 475 msnm.

Todos los caminos antes mencionados se pueden apreciar mejor en la figura IV.1., Plano general de caminos.

### **IV.2.4. Construcción de Caminos**

La construcción de los caminos se hará con los procedimientos conocidos, es decir, para la excavación de suelo se usarán tractores CAT D8R y/o similar y para la excavación en roca se utilizarán equipos de perforación hidráulicos montados sobre orugas Ranger 600 de Tamrock y/o similar.

La carga se hará con cargadores montados sobre llantas CAT 988 y/o similar y el transporte con camiones fuera de carretera CAT 769 y/o similar.

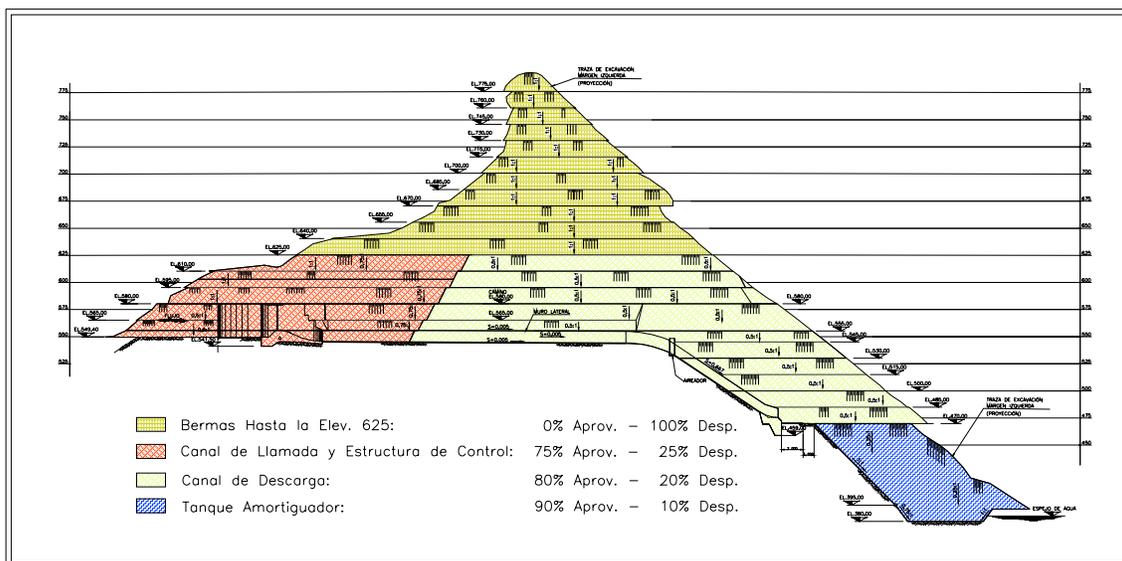
La disposición de los materiales excavados que sean aptos se utilizarán en la construcción de los mismos caminos y los sobrantes serán enviados a los bancos de desperdicio ya mencionados.



### IV.3. Balance de Materiales

#### IV.3.1. Material Aprovechable Producto de la Excavación en la Obra de Excedencias

De los 10'361,915 m<sup>3</sup> de material excavado en la obra de excedencias no todo será enrocamiento aprovechable en la obra de contención debido a la mala calidad del material que existe en esa margen. Se sabe que el material que sea excavado para formar las bermas de la margen izquierda del canal vertedor, desde la elevación 780 msnm hasta la elevación 625 msnm, es material de desperdicio; sin embargo, se ha encontrado que de esta última elevación al desplante de la obra de excedencias (canal de llamada, estructura de control, canal de descarga y tanque amortiguador), existen diferentes porcentajes de enrocamiento, los cuales serán los principal suministros de roca para la cortina. En la figura IV.2. se muestra un perfil de la obra de excedencias con los porcentajes, tanto de material aprovechable como de material de desperdicio, considerados para las diferentes secciones en que se ha dividido esta estructura.



**Figura IV.2.- Perfil del vertedor con sus secciones y sus respectivos porcentajes**

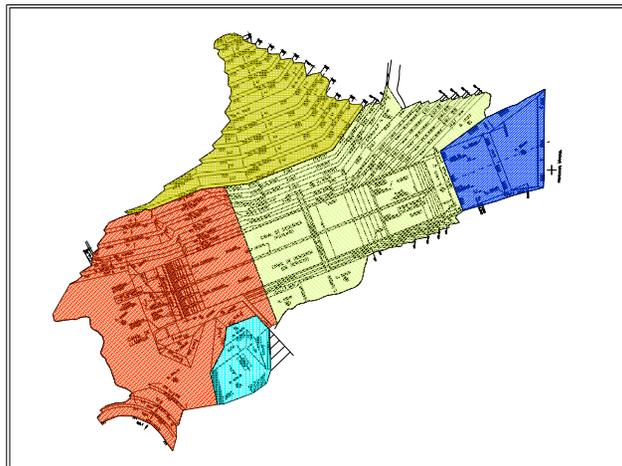
Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

Después de haber definido los porcentajes respectivos a cada sección del vertedor, se determinaron los volúmenes de material aprovechable y de material de desperdicio correspondientes a cada una de estas secciones (tabla IV.1.).

|  | Volumen                         | % Aprov. | Vol. Aprovechable              | % Desp. | Vol. Desperdicio               |
|--|---------------------------------|----------|--------------------------------|---------|--------------------------------|
|  Excavación de Bermas Hasta la Elevación 625            | 2,961,506 m <sup>3</sup>        | 0%       | 0 m <sup>3</sup>               | 100%    | 2,961,506 m <sup>3</sup>       |
|  Excavación en Canal de Llamada y Estructura de Control | 3,026,483 m <sup>3</sup>        | 75%      | 2,269,862 m <sup>3</sup>       | 25%     | 756,621 m <sup>3</sup>         |
|  Excavación en Canal de Descarga                        | 3,484,519 m <sup>3</sup>        | 80%      | 2,787,615 m <sup>3</sup>       | 20%     | 696,904 m <sup>3</sup>         |
|  Excavación de Tanque Amortiguador                      | 706,891 m <sup>3</sup>          | 90%      | 636,202 m <sup>3</sup>         | 10%     | 70,689 m <sup>3</sup>          |
|  Excavación de Plataforma para Lumbreira                | 182,517 m <sup>3</sup>          | 80%      | 146,013 m <sup>3</sup>         | 20%     | 36,503 m <sup>3</sup>          |
| <b>Volúmenes Totales</b>   | <b>10,361,915 m<sup>3</sup></b> |          | <b>5,839,692 m<sup>3</sup></b> |         | <b>4,522,223 m<sup>3</sup></b> |

**Tabla IV.1.- Volúmenes por sección de material aprovechable, de material de desperdicio y total**

En la figura IV.3. se puede observar la división propuesta para el análisis de la obra de excedencias vista en planta. Los colores en esta figura corresponden a los definidos para cada sección en la tabla IV.1.; esto con el fin de mostrar con más claridad la localización y las dimensiones de estas cinco secciones del vertedor en las que se consideraron diferentes porcentajes de material aprovechable.



**Figura IV.3.- Planta con las cinco secciones de la Obra de Excedencias**

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

Por último y basándose en todos los datos antes mencionados, en la figura IV.4. se muestra una comparación en el histograma de excavación de la obra de excedencias, del capítulo II, entre la parte de la producción mensual que corresponde a material aprovechable para la cortina y la que corresponde a material considerado desperdicio.

Como puede observarse en este histograma, en los primeros nueve meses de excavación la producción de material aprovechable es prácticamente cero; ya que siguiendo con el programa de excavación de la obra de excedencias, en el cual se espera disminuir el almacén de materiales al máximo, se planeó que en estos meses se empezara la excavación del canal vertedor por las bermas de la margen izquierda hasta la elevación 625 msnm pues generarán solo material de desperdicio; sin embargo, existirá un porcentaje de material aprovechable en los tres primeros meses porque se estará excavando la plataforma para la lumbrera de cierre final, la cual se encuentra en zona de enrocamiento y será necesario que esté lista junto con los túneles de desvío. Posteriormente se llegará a la roca y se iniciará con la producción de material aprovechable que abastecerá, mientras dure la excavación del vertedor, la demanda de enrocamiento en la obra de contención.

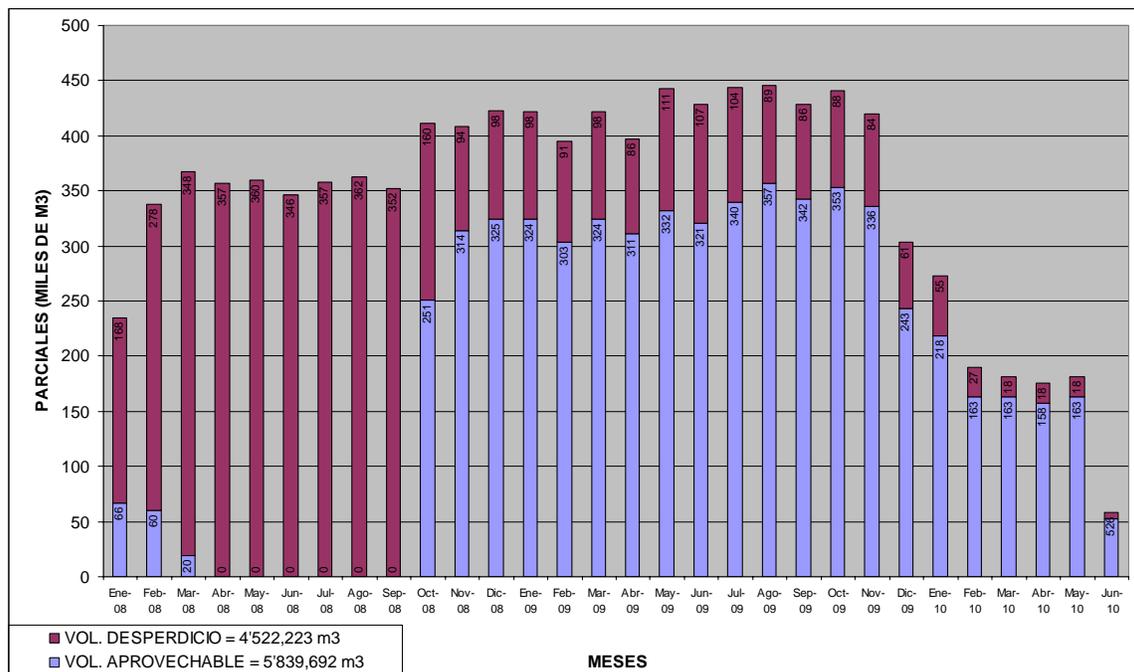


Figura IV.4.- Histograma con el volumen de material aprovechable y el de desperdicio

### IV.3.2. Existencias Totales de Material Aprovechable

No solo la obra de excedencias proporcionará enrocamiento a la obra de contención, cada estructura del proyecto abastecerá, con diferentes porcentajes de roca, las necesidades de material de relleno para las ataguías y cortina. Aunque todas estas estructuras no forman parte directamente del estudio para desarrollar este tema de tesis, habrá que realizar un análisis de las volumetrías de todas éstas con el fin de obtener las existencias totales de material aprovechable en el proyecto y así, habiendo conocido las necesidades de enrocamiento para la obra de contención, realizar el balance de materiales correspondiente.

Para la obtención de las existencias totales de material aprovechable dentro del P. H. La Yesca, las excavaciones en las diferentes estructuras se han dividido en excavaciones exteriores y excavaciones subterráneas. Para todas estas últimas se consideró un cinco por ciento estándar de material de desperdicio puesto que al estar varios metros por debajo de la capa vegetal se espera sacar prácticamente puro enrocamiento (tabla IV.2.). Por otro lado, para las excavaciones exteriores o a cielo abierto se consideraron diferentes porcentajes de material a desperdiciar dependiendo de la ubicación que tengan éstas en el proyecto (tabla IV.2.).

| EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS                      | DESPERDICIO % | EXCAVACIONES EXTERIORES                       | DESPERDICIO % |
|--|---------------|---|---------------|
| <b>TÚNELES DE DESVÍO</b>                       |               | <b>OBRAS DE DESVÍO</b>                        |               |
| Excavación en túnel 1                          | 5             | <b>Ataguías</b>                               |               |
| Excavación en túnel 2                          | 5             | Excavación en laderas                         | 100           |
| <b>LUMBRERAS DE CIERRE FINAL Y PROVISIONAL</b> |               | <b>Portales y estructuras de cierre</b>       |               |
| Excavación de lumbreras                        | 5             | Excavación de portales de entrada y de salida | 30            |
| Excavación de galerías                         | 5             | Excavación de plataforma lum. provisional     | 30            |
| <b>CONDUCCIÓN A PRESIÓN</b>                    |               | Excavación de plataforma lum. final           | 20            |
| Excavación de tubería                          | 5             | <b>OBRAS DE CONTENCIÓN</b>                    |               |
| <b>CASA DE MÁQUINAS</b>                        |               | Excavación en laderas                         | 100           |
| Excavación de caverna                          | 5             | Excavación en el cauce                        | 0             |
| <b>TÚNELES DE ASPIRACIÓN</b>                   |               | Excavación del plinto                         | 40            |
| Excavación en túnel                            | 5             | <b>OBRA DE GENERACIÓN</b>                     |               |
| <b>GALERÍA DE OSCILACIÓN</b>                   |               | Excavación en canal de obra de toma           | 100           |
| Excavación de caverna                          | 5             | Excavación en portal del desfogue             | 30            |
| <b>DESFOGUE</b>                                |               | Excavación en plataforma a la elev. 426       | 100           |
| Excavación en túnel                            | 5             | Excavación en subestación elevadora           | 25            |
| <b>TÚNELES DE ACCESO</b>                       |               | <b>OBRAS DE EXCEDENCIAS</b>                   |               |
| Excavación en túnel                            | 5             | Excav. Canal de Llamada y Est. Control        | 25            |
| <b>TÚNELES DE CONSTRUCCIÓN</b>                 |               | Excav. Bermas hasta la elev. 625              | 100           |
| Excavación en túnel                            | 5             | Excav. Canal de Descarga                      | 20            |
|  |               | Excav. Tanque Amortiguador                    | 10            |

Tabla IV.2.- Porcentajes de desperdicio considerados en las excavaciones

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

Después de haber calculado todos los volúmenes de excavaciones tanto subterráneas como exteriores, de las diferentes estructuras, se les aplicaron los porcentajes de desperdicio correspondientes de acuerdo a la tabla IV.2.; es así como, habiéndole restado a cada estructura este volumen de desperdicio, se pudo obtener el total de material aprovechable.

Como ya se dijo al principio de esta tesis las excavaciones subterráneas, aunque no se componen de mucho desperdicio, solo producirán 621,754 m<sup>3</sup> de roca (tabla IV.3.), lo cual dejará que los grandes bancos de suministro del enrocamiento sean las excavaciones exteriores.

| EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS                             | UNIDAD | CANTIDAD       | DESPERDICIO % | VOLUMEN APROVECHABLE |
|---|--------|----------------|---------------|----------------------|
| <b>TÚNELES DE DESVÍO</b>                              |        |                |               |                      |
| Excavación en túnel 1                                 | m3     | 125,847        | 5             | 119,554              |
| Excavación en túnel 2                                 | m3     | 136,002        | 5             | 129,202              |
| <b>LUMBRERAS DE CIERRE FINAL Y PROVISIONAL</b>        |        |                |               |                      |
| Excavación de lumbreras                               | m3     | 11,797         | 5             | 11,207               |
| Excavación de galerías                                | m3     | 60,284         | 5             | 57,270               |
| <b>CONDUCCIÓN A PRESIÓN</b>                           |        |                |               |                      |
| Excavación de tubería                                 | m3     | 28,381         | 5             | 26,962               |
| <b>CASA DE MÁQUINAS</b>                               |        |                |               |                      |
| Excavación de caverna                                 | m3     | 88,511         | 5             | 84,085               |
| <b>TÚNELES DE ASPIRACIÓN</b>                          |        |                |               |                      |
| Excavación en túnel                                   | m3     | 11,282         | 5             | 10,718               |
| <b>GALERÍA DE OSCILACIÓN</b>                          |        |                |               |                      |
| Excavación de caverna                                 | m3     | 58,401         | 5             | 55,481               |
| <b>DESFOGUE</b>                                       |        |                |               |                      |
| Excavación en túnel                                   | m3     | 52,138         | 5             | 49,531               |
| <b>TÚNELES DE ACCESO</b>                              |        |                |               |                      |
| Excavación en túnel                                   | m3     | 35,313         | 5             | 33,548               |
| <b>TÚNELES DE CONSTRUCCIÓN</b>                        |        |                |               |                      |
| Excavación en túnel                                   | m3     | 46,522         | 5             | 44,196               |
| <b>TOTALES</b>  |        | <b>654,478</b> |               | <b>621,754</b>       |
| <b>VOLUMEN APROVECHABLE EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS</b> |        |                |               | <b>621,754</b>       |
| <b>VOLUMEN DESPERDICIO EXCAVACIONES SUBTERRÁNEAS</b>  |        |                |               | <b>32,724</b>        |

**Tabla IV.3.- Volúmenes de roca provenientes de las excavaciones subterráneas**

Por otro lado, las excavaciones exteriores generarán 7'962,779 m<sup>3</sup> de material aprovechable incluyendo la roca producto de las excavaciones en el vertedor, las cuales todas serán a cielo abierto (tabla IV.4.). Cabe señalar que en la excavación del canal de la obra de toma si existe enrocamiento, pero por su mala ubicación y la baja elevación a

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

la que se encuentra no convendrá utilizarlo en la cortina; es por esto que se considerará el 100 por ciento de desperdicio y así no se generará más almacén el cual es más caro.

| EXCAVACIONES EXTERIORES                             | UNIDAD | CANTIDAD          | DESPERDICIO % | VOLUMEN APROVECHABLE |
|---|--------|-------------------|---------------|----------------------|
| <b>OBRAS DE DESVÍO</b>                              |        |                   |               |                      |
| <b>Ataguías</b>                                     |        |                   |               |                      |
| Excavación en laderas                               | m3     | 34,852            | 100           | 0                    |
| <b>Portales y estructuras de cierre</b>             |        |                   |               |                      |
| Excavación de portales de entrada y de salida       | m3     | 375,036           | 30            | 262,525              |
| Excavación de plataforma lum. provisional           | m3     | 241,735           | 30            | 169,215              |
| Excavación de plataforma lum. final                 | m3     | 182,516           | 20            | 146,013              |
| <b>OBRAS DE CONTENCIÓN</b>                          |        |                   |               |                      |
| Excavación en laderas                               | m3     | 633,221           | 100           | 0                    |
| Excavación en el cauce                              | m3     | 73,487            | 0             | 73,487               |
| Excavación del plinto                               | m3     | 258,964           | 40            | 155,378              |
| <b>OBRA DE GENERACIÓN</b>                           |        |                   |               |                      |
| Excavación en canal de obra de toma                 | m3     | 580,001           | 100           | 0                    |
| Excavación en portal del desfogue                   | m3     | 353,698           | 30            | 247,589              |
| Excavación en plataforma a la elev. 426             | m3     | 351,457           | 100           | 0                    |
| Excavación en subestación elevadora                 | m3     | 1,619,858         | 25            | 1,214,894            |
| <b>OBRAS DE EXCEDENCIAS</b>                         |        |                   |               |                      |
| Excav. Canal de Llamada y Est. Control              | m3     | 3,026,483         | 25            | 2,269,862            |
| Excav. Bermas hasta la elev. 625                    | m3     | 2,961,506         | 100           | 0                    |
| Excav. Canal de Descarga                            | m3     | 3,484,519         | 20            | 2,787,615            |
| Excav. Tanque Amortiguador                          | m3     | 706,891           | 10            | 636,202              |
| <b>TOTALES</b>                                      |        | <b>14,884,224</b> |               | <b>7,962,779</b>     |
| <b>VOLUMEN APROVECHABLE EXCAVACIONES EXTERIORES</b> |        |                   |               | <b>7,962,779</b>     |
| <b>VOLUMEN DESPERDICIO EXCAVACIONES EXTERIORES</b>  |        |                   |               | <b>6,921,444</b>     |

**Tabla IV.4.- Volúmenes de roca provenientes de las excavaciones exteriores**

Para poder obtener el volumen total de material aprovechable a colocar en la cortina, se le adicionó a la suma de los totales de material aprovechable de las excavaciones subterráneas y excavaciones exteriores un factor de contracción volumétrica del 10 por ciento (tabla IV.5.); esto debido a que al colocar este material en la obra de contención, éste no podrá ser compactado hasta quedar de igual forma a como estaba en su estado original, es decir a como se encontraba en banco.

|  | Volumen de Excavaciones m3 | Material Aprovechable m3 |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Obras subterráneas                       | 654,478                    | 621,754                  |
| Obras exteriores                         | 14,884,224                 | 7,962,779                |
| <b>TOTAL MATERIAL</b>                    | <b>15,538,702</b>          | <b>8,584,533</b>         |
| <b>FACTOR DE CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA</b> |                            | <b>1.1</b>               |
|  |                            | <b>9,442,987</b>         |

**Tabla IV.5.- Volumen total de material aprovechable a colocar en cortina**

### IV.3.3. Análisis de Necesidades contra Existencias

Habiendo conocido las necesidades de materiales de relleno para la obra de contención del P. H. La Yesca, la cual consiste en una cortina de enrocamiento con cara de concreto, y después de haber analizado y determinado las existencias de material aprovechable producto de las excavaciones en las diferentes estructuras y bancos de material, se pudo desarrollar el balance de materiales correspondiente (tabla IV.6.).

| NECESIDADES DE MATERIALES, CORTINA DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO |              |   |   |           |                                  |   |                         |         |            |
|---|--------------|---|---|-----------|----------------------------------|---|-------------------------|---------|------------|
| CONCEPTO  | ENROCAMIENTO |   |   | ALUVIÓN   | MATERIALES QUE REQUIEREN PROCESO |   |                         | ARCILLA | TOTAL      |
|   | 3C, 3G, 3H   | 4 | T | 3B        | 2F                               | 2 | AGREGADOS PARA CONCRETO | 1B, N   |            |
| VOLUMENES DE MATERIAL EN M3   | 8,456,177    |   |   | 3,812,931 | 875,081                          |   |                         | 146,740 | 13,290,929 |
| NECESIDADES TOTALES   | 8,456,177    |   |   | 4,688,012 |                                  |   |                         | 146,740 | 13,290,929 |

| EXISTENCIAS DE MATERIALES PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN EN ESTRUCTURAS, BANCOS DE ALUVIÓN Y ARCILLA |  |                            |  |         |            |
|---|--|----------------------------|--|---------|------------|
| CONCEPTO  | MATERIAL ÚTIL PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN EN ESTRUCTURAS | MATERIAL BANCOS DE ALUVIÓN |  | ARCILLA | TOTAL      |
| EXISTENCIAS DE MATERIAL EN M3   | 9,442,987  | 4,688,012                  |  | 146,740 | 14,277,739 |

| SOBRANTES DE MATERIALES     |             |                                     |  |         |         |
|-----------------------------|-------------|-------------------------------------|--|---------|---------|
| CONCEPTO                    | DESPERDICIO | ALUVIÓN PROCESAMIENTO DE MATERIALES |  | ARCILLA | TOTAL   |
| SOBRANTES DE MATERIAL EN M3 | 986,810     | 0                                   |  | 0       | 986,810 |

**Tabla IV.6.- Balance de materiales**

Como se puede observar en el balance de materiales, el volumen total de roca que se requiere colocar en la obra de contención es de 8'456,177 m<sup>3</sup> y la existencia total de material útil producto de las excavaciones en las diferentes estructuras del proyecto es de 9'442,987 m<sup>3</sup>, lo que significa que 986,810 m<sup>3</sup> de enrocamiento sobrarán y se considerarán desperdicio.

Por otro lado, las necesidades de aluvión y materiales que requieren un proceso de trituración representan un volumen de 4'688,012 m<sup>3</sup>, el cual se puede cubrir perfectamente con los bancos de aluvión existentes a lo largo del Río Santiago (aguas arriba del proyecto).

Finalmente, los 146,740 m<sup>3</sup> de arcilla requeridos en ataguías y cortina habrá que excavarlos de bancos de arcilla localizados en las cercanías del proyecto.

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

El material sobrante considerado desperdicio se adicionará al volumen de material no aprovechable producto de las excavaciones en todas las estructuras, para así obtener el volumen total a desperdiciar dentro del proyecto (tabla IV.7.). Estos 7'940,978 m<sup>3</sup> de material tendrán que ubicarse en zonas de desperdicio destinadas para tal fin y que alterarán en lo menos posible al medio ambiente; sin embargo el material sobrante, a diferencia del material no aprovechable, será colocado aguas abajo del vertedor como reserva, para que en el dado caso de que no se obtenga buena roca de otras estructuras, se pueda hacer uso de este enrocamiento.

| DESPERDICIO TOTAL                   |                                |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| MATERIAL SOBRANTE                   | 986,810 m <sup>3</sup>         |
| VOLUMEN DESPERDICIO DE EXCAVACIONES | 6,954,168 m <sup>3</sup>       |
| <b>DESPERDICIO TOTAL</b>            | <b>7,940,978 m<sup>3</sup></b> |

**Tabla IV.7.- Material no aprovechable**

DISTRIBUCIÓN DE LAS EXISTENCIAS

En la tabla IV.8. se muestra un comparativo entre la proveniencia de los diferentes materiales requeridos, el tipo, las existencias, las necesidades de los mismos para rellenos tanto en cortina como en ataguías, el comparativo entre estos dos últimos conceptos (los sobrantes de material), y finalmente, la distribución de los volúmenes de estos materiales dentro de la obra de contención.

| MATERIALES                  | PRODUCTO DE EXCAVACIONES |                | BANCO DE ROCA |          | BANCO DE ALUVIÓN |                |                | BANCO DE ARCILLA | TOTALES           |
|-----------------------------|--------------------------|----------------|---------------|----------|------------------|----------------|----------------|------------------|-------------------|
|                             | CORTINA                  | ATAGUIAS       | CORTINA       | ATAGUIAS | CORTINA          | ATAGUIAS       | CONCRETOS      |                  |                   |
| <b>EXISTENCIAS (A)</b>      | <b>9,442,987</b>         |                | <b>0</b>      |          | <b>4,688,012</b> |                |                | <b>146,740</b>   | <b>14,277,739</b> |
| TIPO DE MAT / ESTRUCTURA    | CORTINA                  | ATAGUIAS       | CORTINA       | ATAGUIAS | CORTINA          | ATAGUIAS       | CONCRETOS      |                  |                   |
| MATERIAL 3G (ROCA)          | 402,753                  |                |               |          |                  |                |                |                  | 402,753           |
| MATERIAL 3H (ROCA)          | 84,622                   |                |               |          |                  |                |                |                  | 84,622            |
| MATERIAL T (ROCA)           | 4,137,898                | 177,487        |               |          |                  |                |                |                  | 4,315,385         |
| MATERIAL 3C (ROCA)          | 3,425,718                | 20,587         |               |          |                  |                |                |                  | 3,446,305         |
| MATERIAL 4 (ROCA)           | 167,636                  | 39,476         |               |          |                  |                |                |                  | 207,112           |
| MATERIAL 3B (ALUVION)       |                          |                |               |          | 3,649,725        | 163,206        |                |                  | 3,812,931         |
| MATERIAL 2 (ALUVION)        |                          |                |               |          | 362,800          |                |                |                  | 362,800           |
| MATERIAL 2F (ALUVION)       |                          |                |               |          | 8,448            |                |                |                  | 8,448             |
| MATERIAL 1B (LIMO)          |                          |                |               |          |                  |                |                | 38,950           | 38,950            |
| MATERIAL N (ARCILLA)        |                          |                |               |          |                  |                |                | 107,790          | 107,790           |
| AGREGADOS PARA CONCRETO     |                          |                |               |          |                  |                | 503,833        |                  | 503,833           |
| <b>SUBTOTALES</b>           | <b>8,218,627</b>         | <b>237,550</b> | <b>0</b>      | <b>0</b> | <b>4,020,973</b> | <b>163,206</b> | <b>503,833</b> | <b>146,740</b>   |                   |
| <b>NECESIDADES (B)</b>      | <b>8,456,177</b>         |                | <b>0</b>      |          | <b>4,688,012</b> |                |                | <b>146,740</b>   | <b>13,290,929</b> |
| <b>DIFERENCIA (A) - (B)</b> | <b>986,810</b>           |                | <b>0</b>      |          | <b>0</b>         |                |                | <b>0</b>         | <b>986,810</b>    |

**Tabla IV.8.- Distribución de las existencias**

## **IV.4. Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención**

### **IV.4.1. Descripción de la Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención**

El P. H. La Yesca arrancará el 17 de septiembre del 2007 con las actividades previas para la construcción de los túneles de desvío. Estos túneles se construyen con el fin de cambiar el cauce del río y poder trabajar en seco durante la construcción de la obra de contención; por esta razón, durante los aproximadamente doce meses que durará esta primera estructura, no se podrá iniciar con la colocación de materiales en ataguías y cortina. Sin embargo, junto con el arranque del proyecto será posible comenzar con algunos frentes de excavación en el vertedor y en la generación, obras que conllevan un largo proceso de construcción y que no dependen de la finalización de los túneles de desvío, pero sobre todo, que deberán estar listas para la fecha de inicio del embalse.

Como bien se sabe, el enrocamiento producto de las excavaciones en las diferentes estructuras, pero sobre todo del vertedor, se aprovechará para la construcción de la obra de contención; sin embargo, debido al desfase de casi un año que existe entre el inicio de la colocación de materiales en cortina y el arranque de estas excavaciones, no será posible colocar inmediatamente en la obra de contención la roca que en este tiempo surja producto de ellas. Tomando en cuenta esto y con el fin de que el inminente almacenamiento se reduzca al máximo, se ha planeado comenzar las excavaciones a cielo abierto de la obra de excedencias por la parte alta del cerro, donde prácticamente todo el material es desperdicio, y con esto dar tiempo a que cuando la cortina requiera del enrocamiento, en el vertedor se haya llegado a una cota con roca.

De acuerdo al análisis de material aprovechable realizado para esta optimización se determinó que, aunque la producción de enrocamiento proveniente del vertedor se haya retrasado unos meses, se almacenará roca producto de las excavaciones en otras estructuras durante el primer año y en los primeros meses de la colocación de

materiales en ataguías y cortina, ya que en estos meses, y hasta que no se compense la producción con los requerimientos, habrán más existencias de roca que necesidades.

En la margen derecha del proyecto se almacenarán, entre otros volúmenes, completos los 272,347 m<sup>3</sup> de material del portal del desfogue y los 1'336,383 m<sup>3</sup> provenientes de la subestación. Este último volumen, aunque se excavará cuando ya se estén colocando materiales en la cortina, se almacenará debido a que esta colocación se encontrará a una cota de mucha menor elevación que las excavaciones en la subestación y este desnivel generaría altos costos de acarreo; de esta forma se utilizará el material una vez que la colocación en cortina esté a una elevación tal que sea factible remover el mismo. Por otra lado en la margen izquierda, inevitablemente se tendrá que almacenar la roca producto de las excavaciones para la construcción de los túneles de desvío; estos 760,873 m<sup>3</sup> se ocuparán como relleno para las ataguías las cuales son las primeras en construirse, por lo que este material no se alejará del proyecto y se dejará a un costado de los portales de entrada y de salida. El vertedor y la plataforma para lumbrera de cierre final, que se excavará al principio, generarán un almacén de 1'408,587 m<sup>3</sup> de enrocamiento de los que 986,810 m<sup>3</sup> se colocarán en un sitio estratégico aguas abajo del vertedor como material de reserva en el dado caso de que no se obtenga buena roca de las demás estructuras; de tal suerte que, al final de la construcción de la cortina, si no se utilizó se puedan considerar como desperdicio. Cabe señalar que el aluvión siempre se considerará almacén, ya que como solo se podrá excavar en temporada de estiaje, cuando no esté lloviendo y el agua esté a un nivel bajo, éste se irá almacenando a los costados del Río Santiago donde será fácil de remover en los momentos en que se requiera en la obra de contención.

En la figura IV.5. se muestra un histograma donde se compara el material aprovechable producto de todas las estructuras del proyecto contra la colocación de materiales en la obra de contención. Gracias a sus respectivos acumulados, también mostrados en este histograma, se pueden observar los 3'778,190 m<sup>3</sup> de almacén, los cuales incluyen los 986,810 m<sup>3</sup> de enrocamiento sobrante que en un principio se considerarán parte del almacenamiento y posteriormente, si no son requeridos, un desperdicio. Este volumen a almacenar no contempla el aluvión que siempre se considerará un almacén más.

Las figuras IV.6. muestran la esquematización del procedimiento de construcción.

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

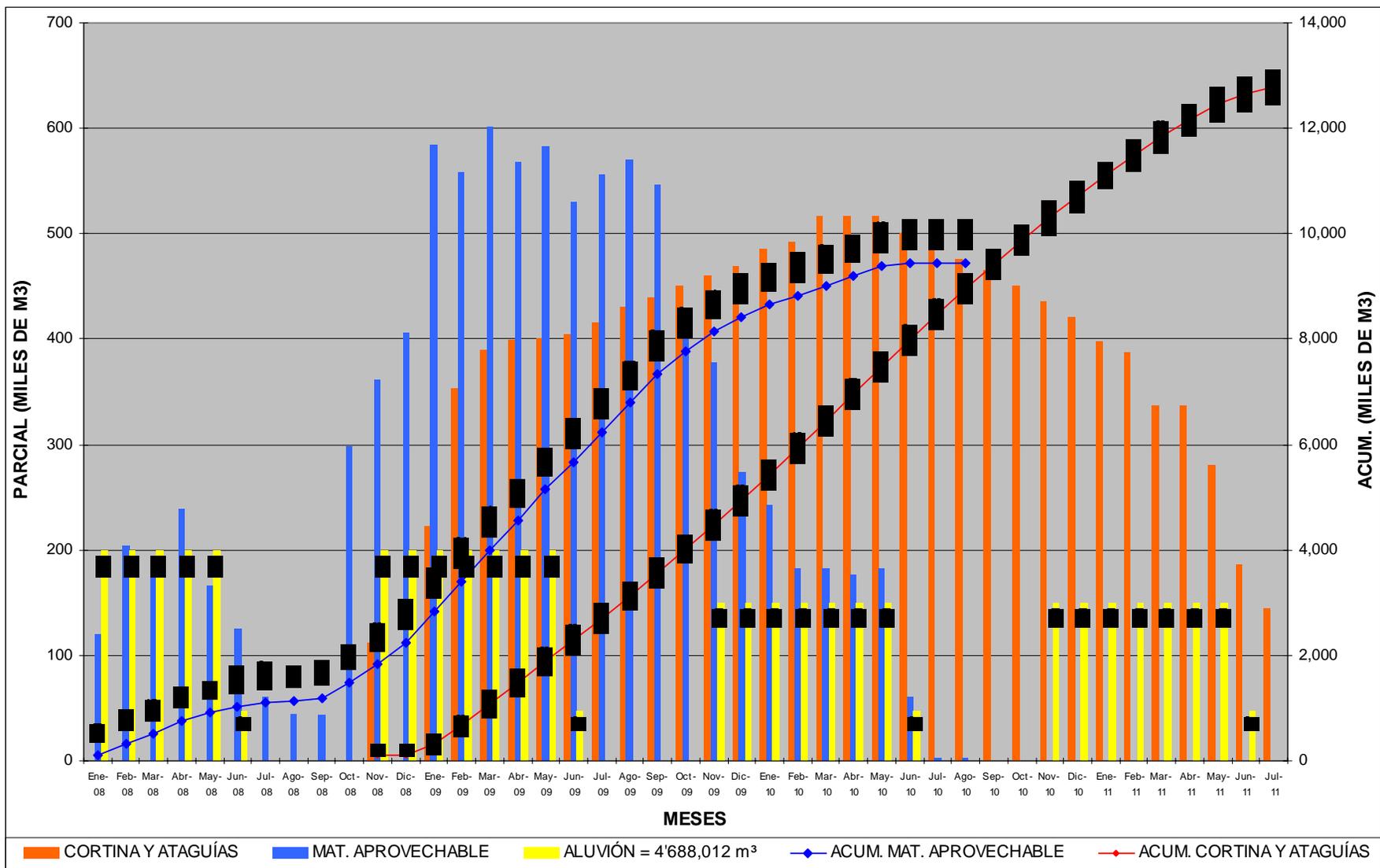
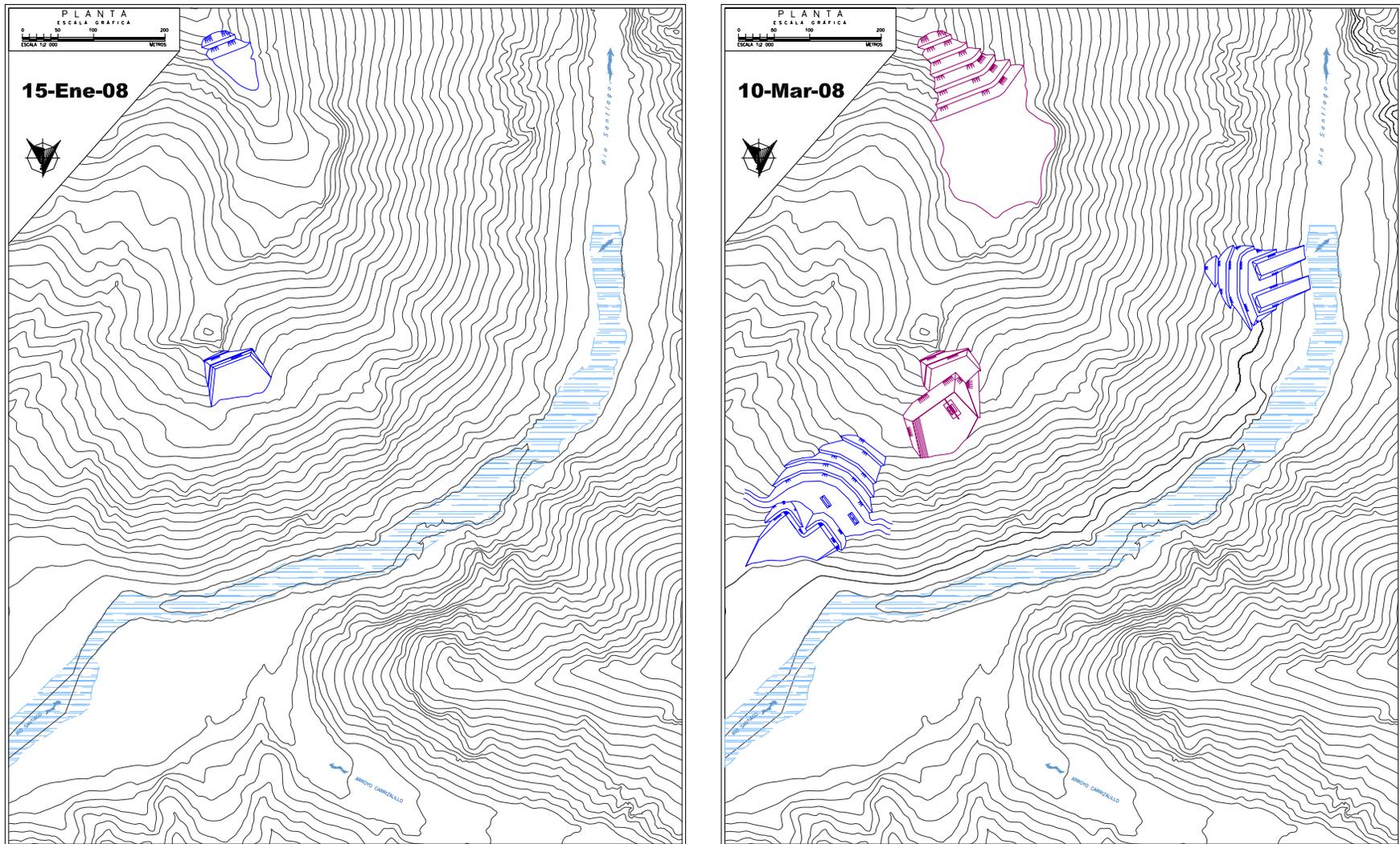


Figura IV.5.- Histograma de material aprovechable Vs. cortina y ataguías, aluvión

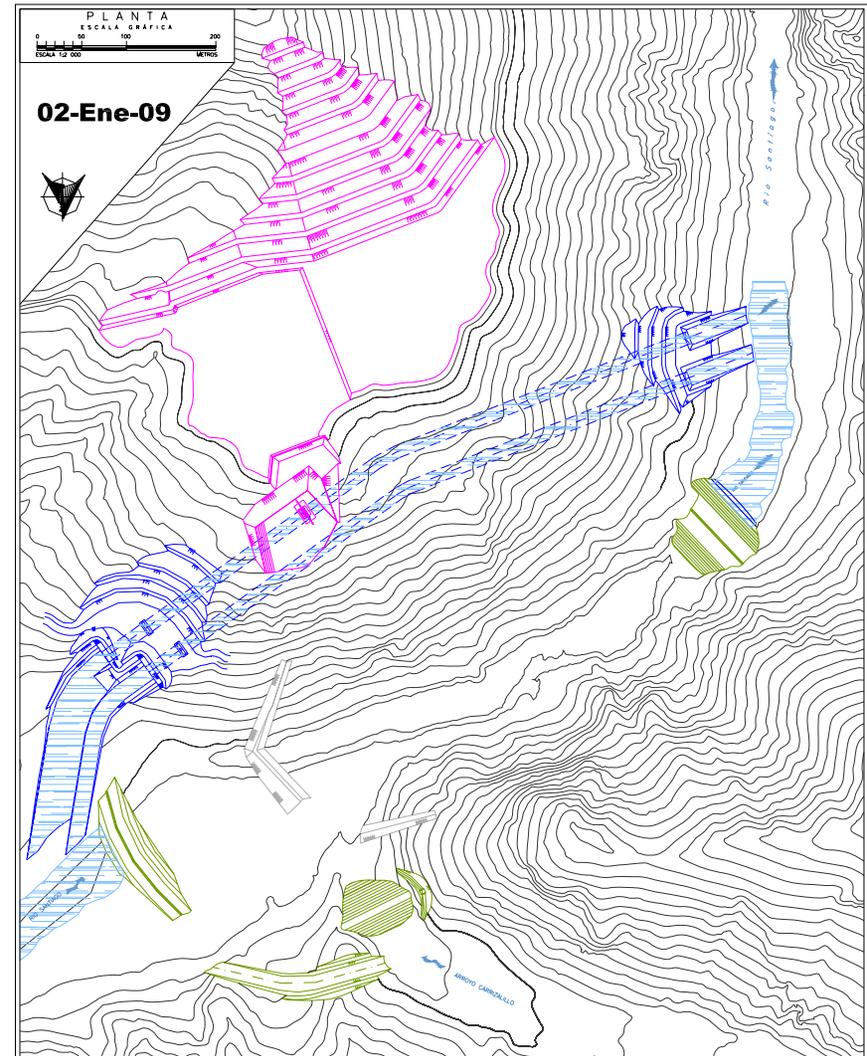
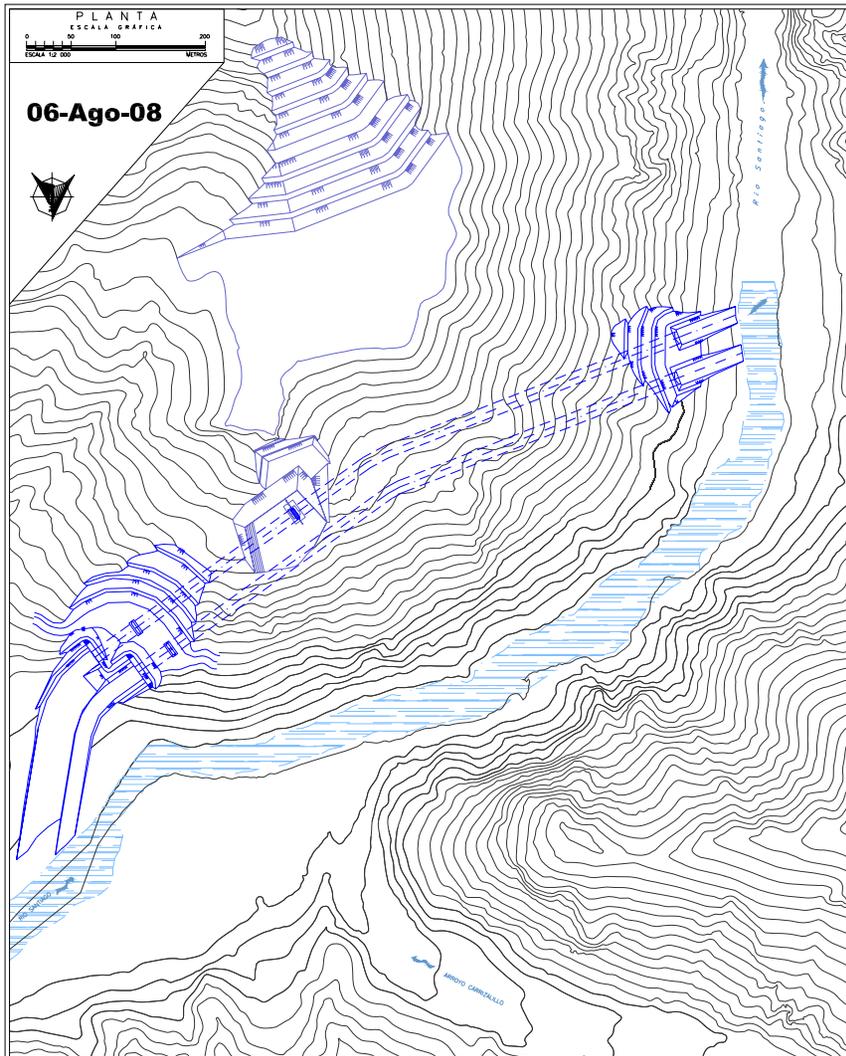
#### IV.4.2. Esquematzación de la Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención

Figura IV.6.- Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención. Láminas 1 y 2

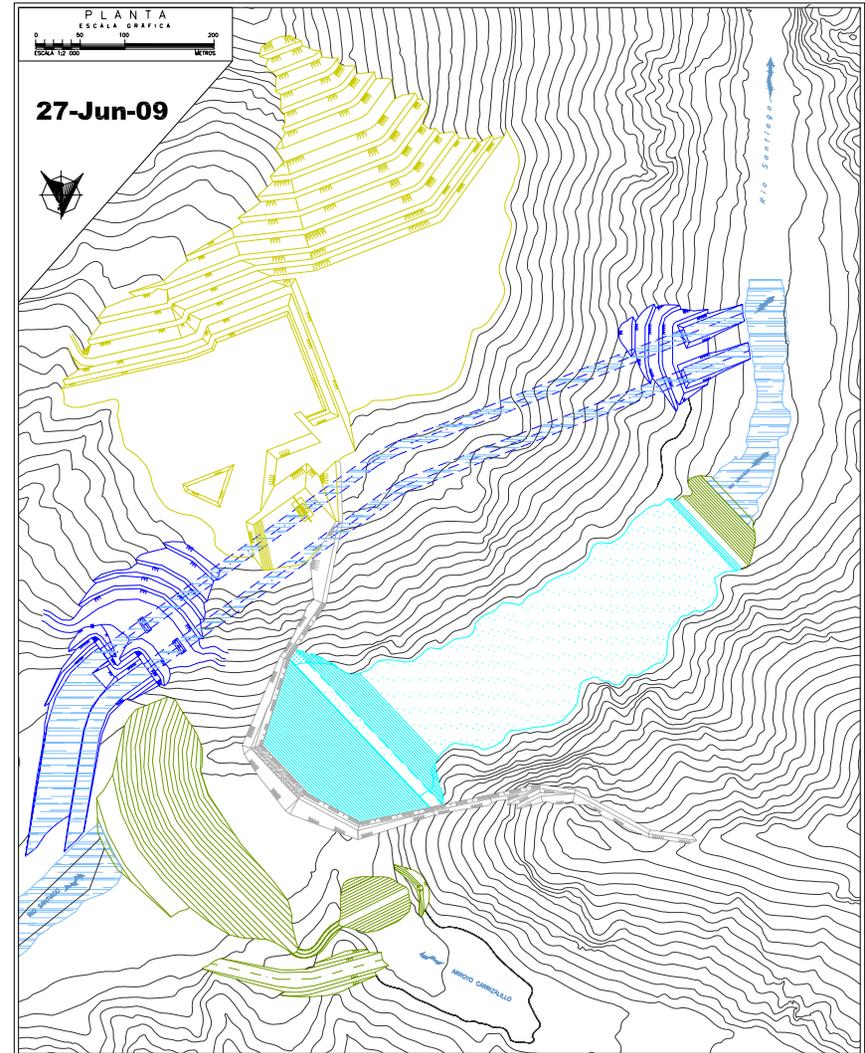
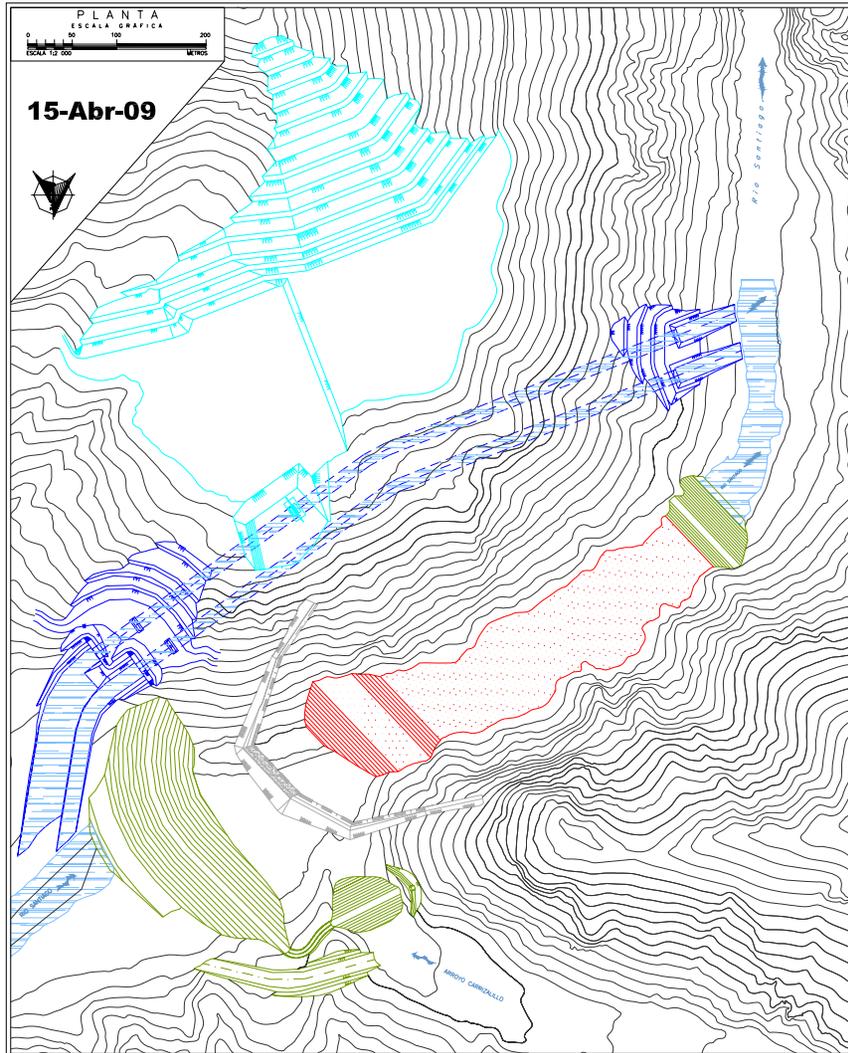


**Figura IV.6.- Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención (Cont.)**

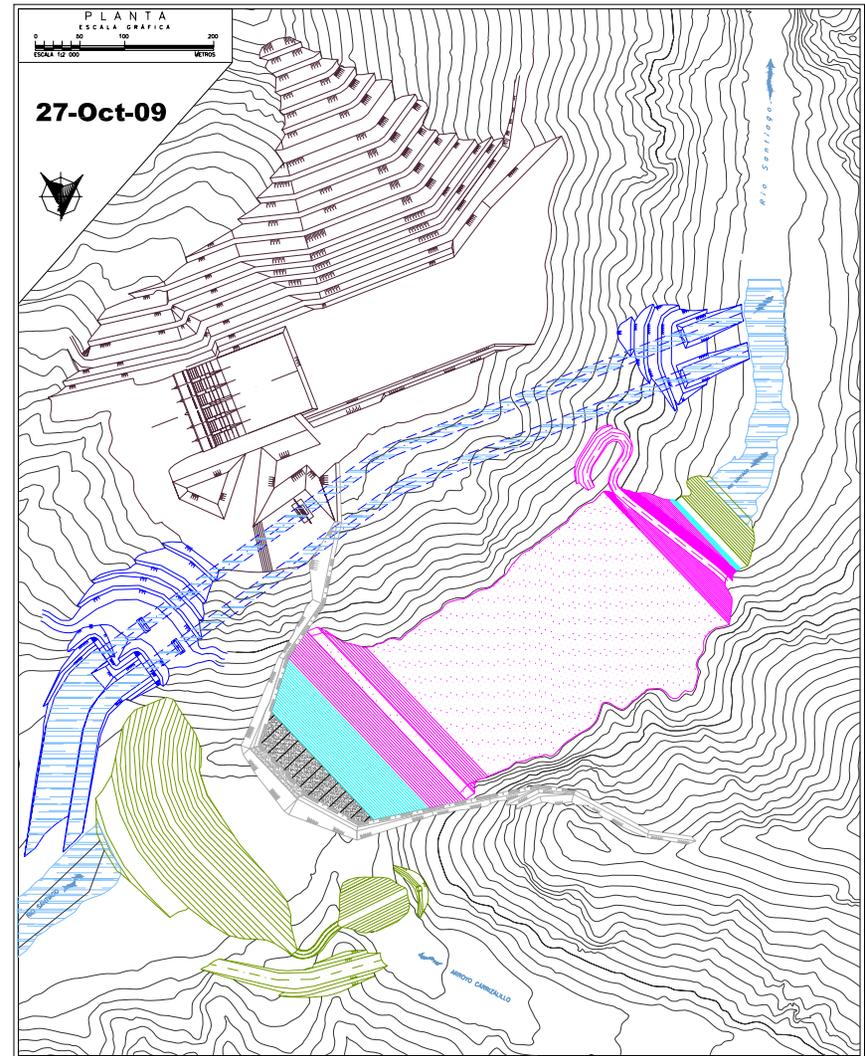
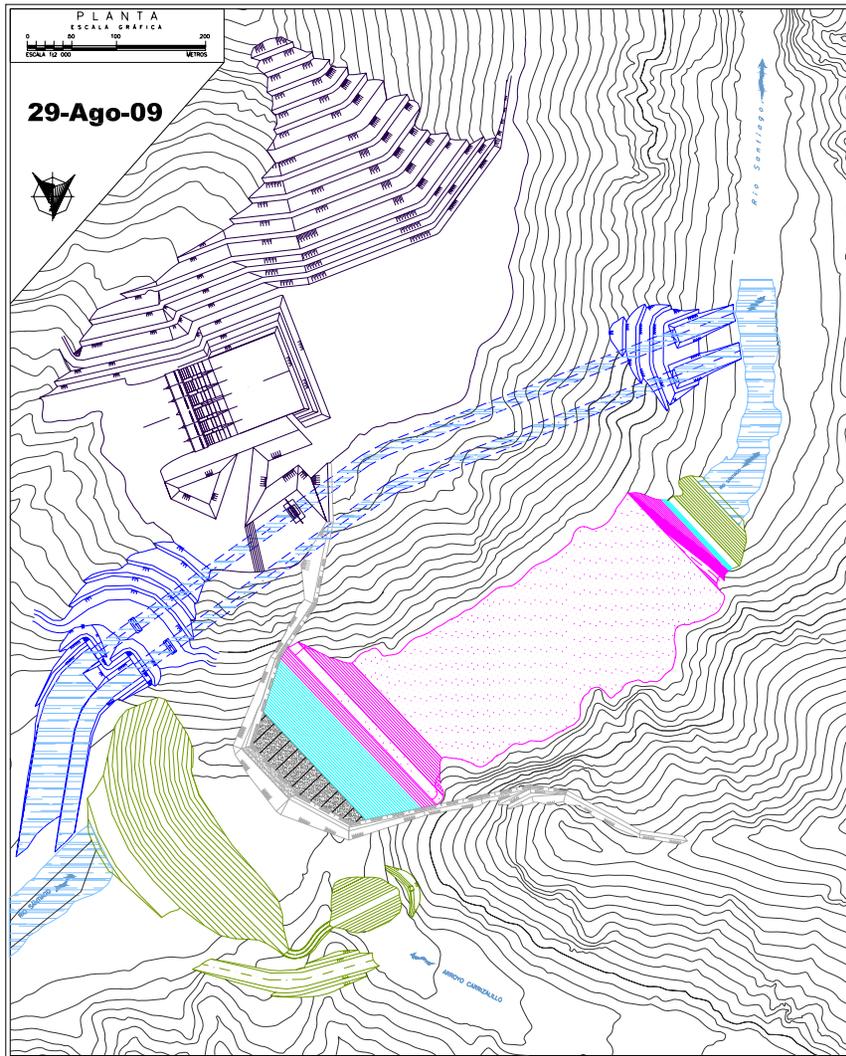
**LÁMINAS 3 Y 4**



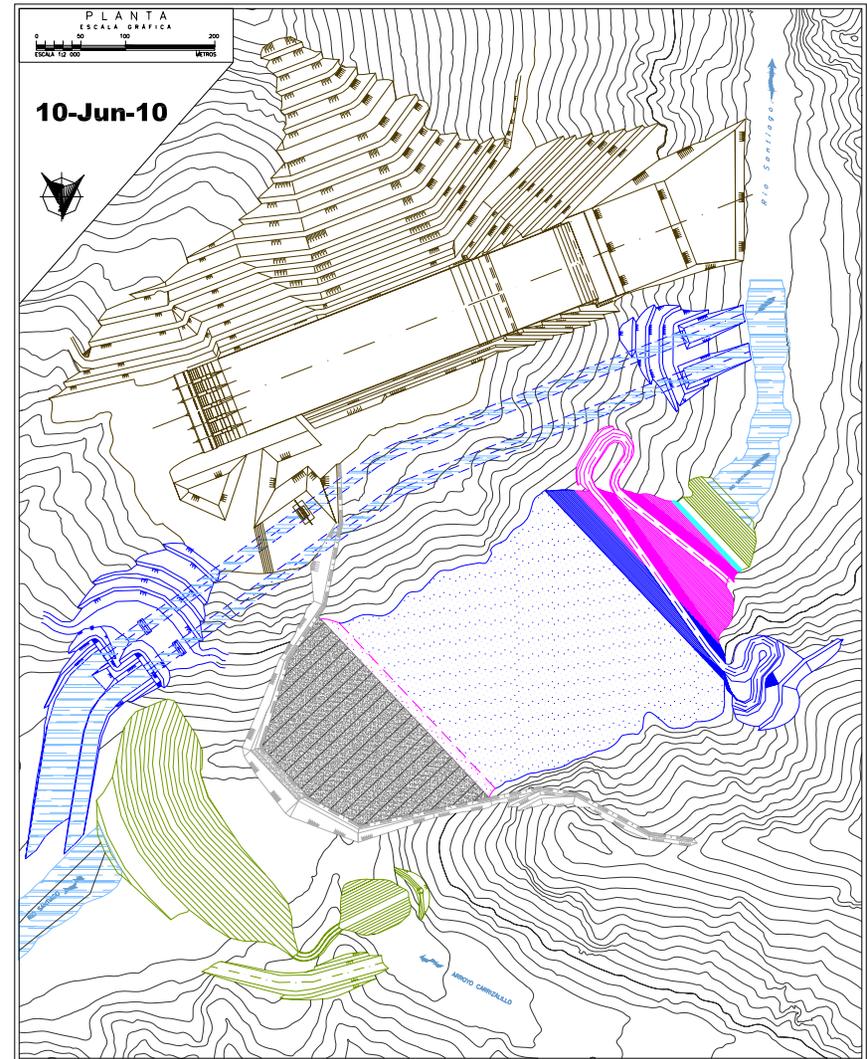
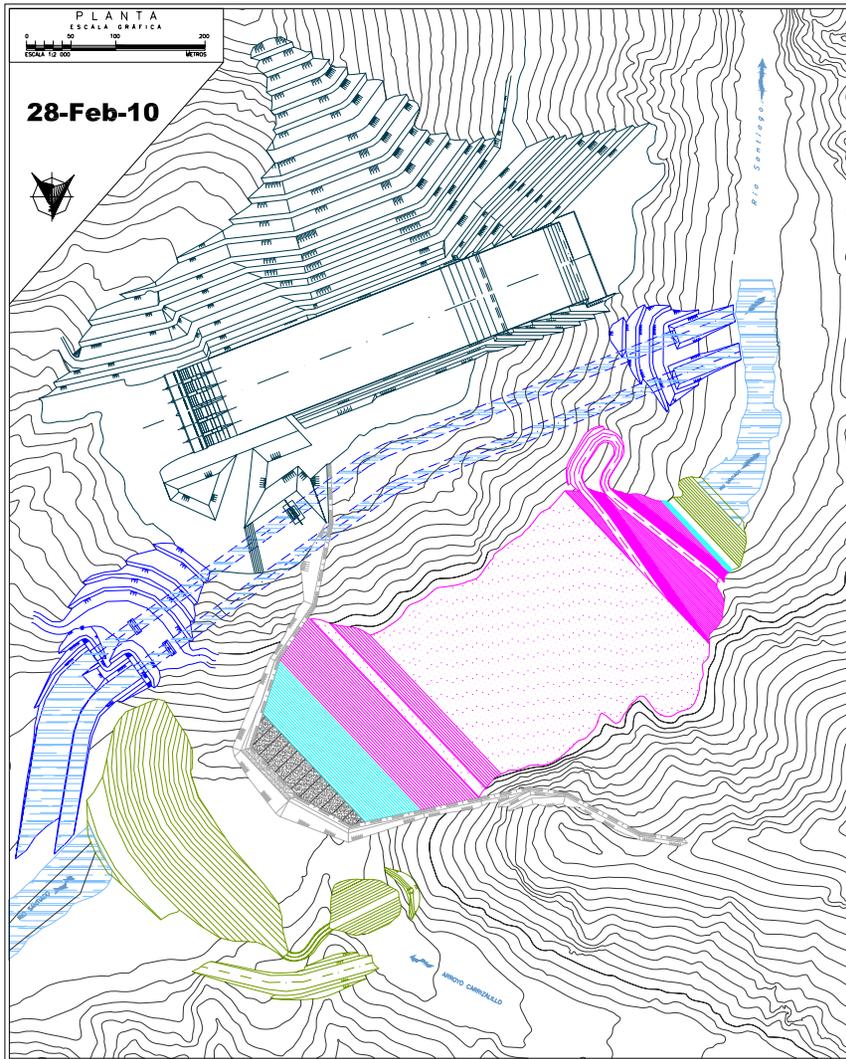
**Figura IV.6.- Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención (Cont.)**  
**LÁMINAS 5 Y 6**



**Figura IV.6.- Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención (Cont.)**  
**LÁMINAS 7 Y 8**



**Figura IV.6.- Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención (Cont.)**  
**LÁMINAS 9 Y 10**



**Figura IV.6.- Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención (Cont.)**  
**LÁMINAS 11 Y 12**

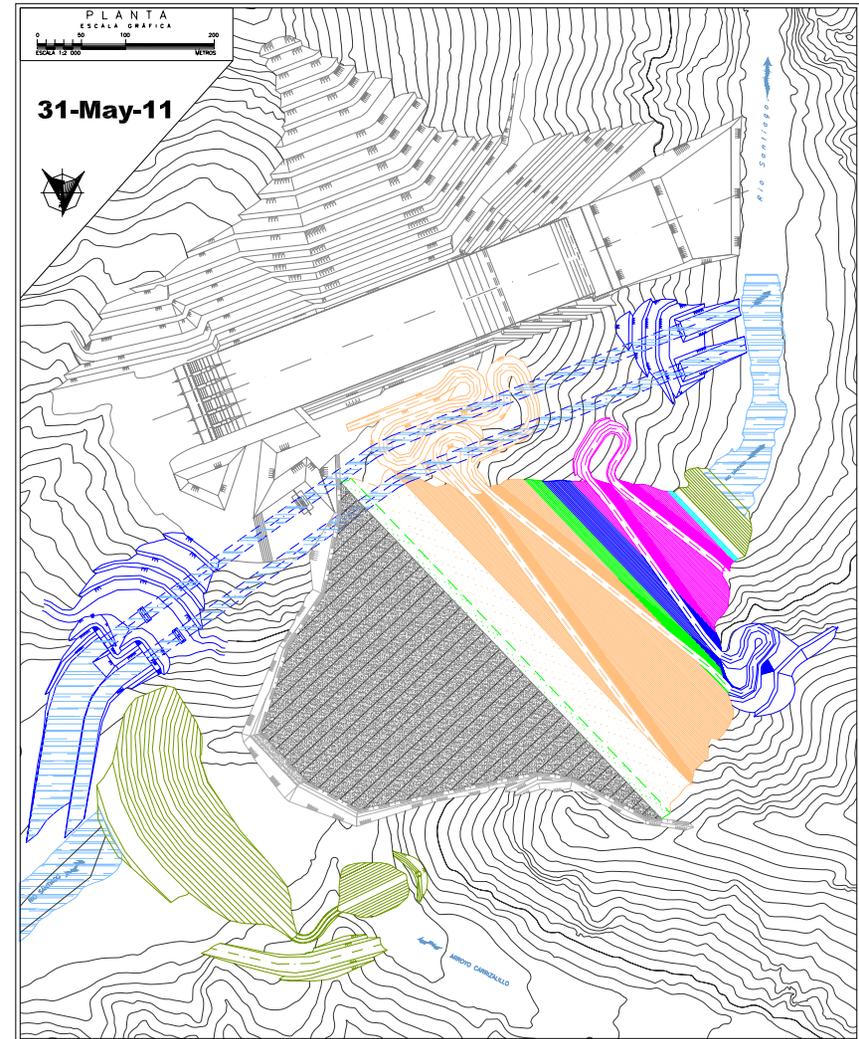
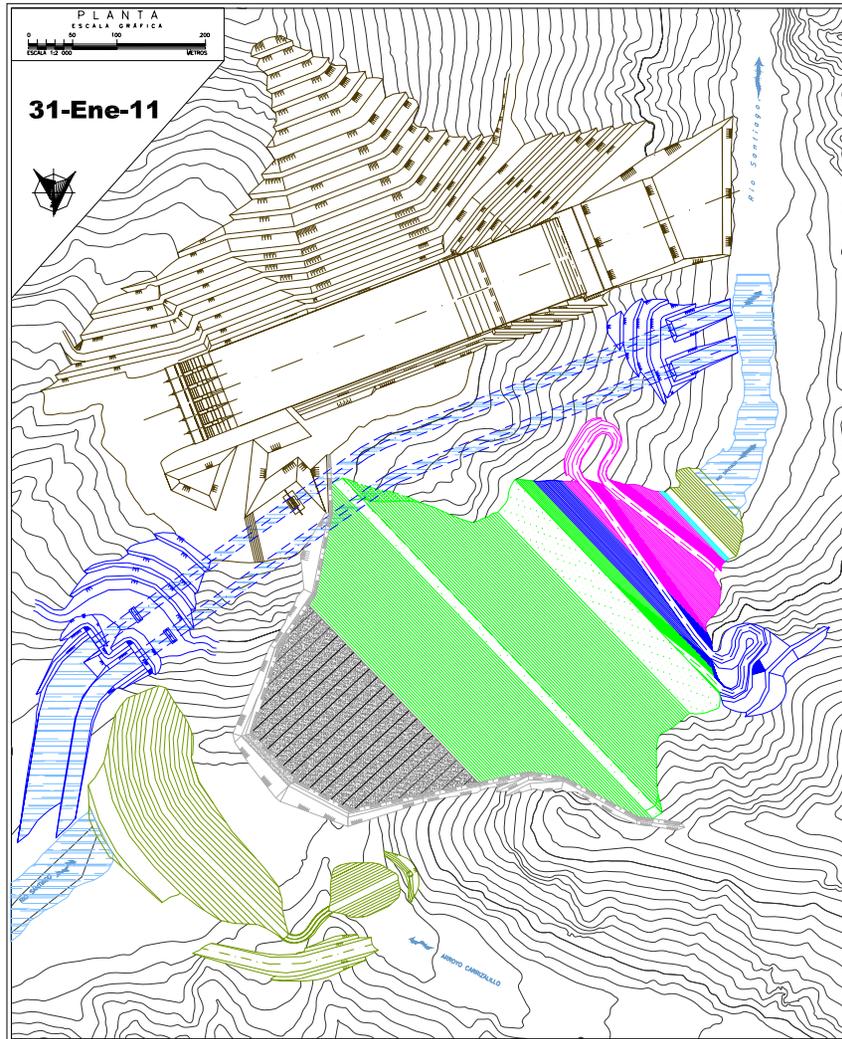
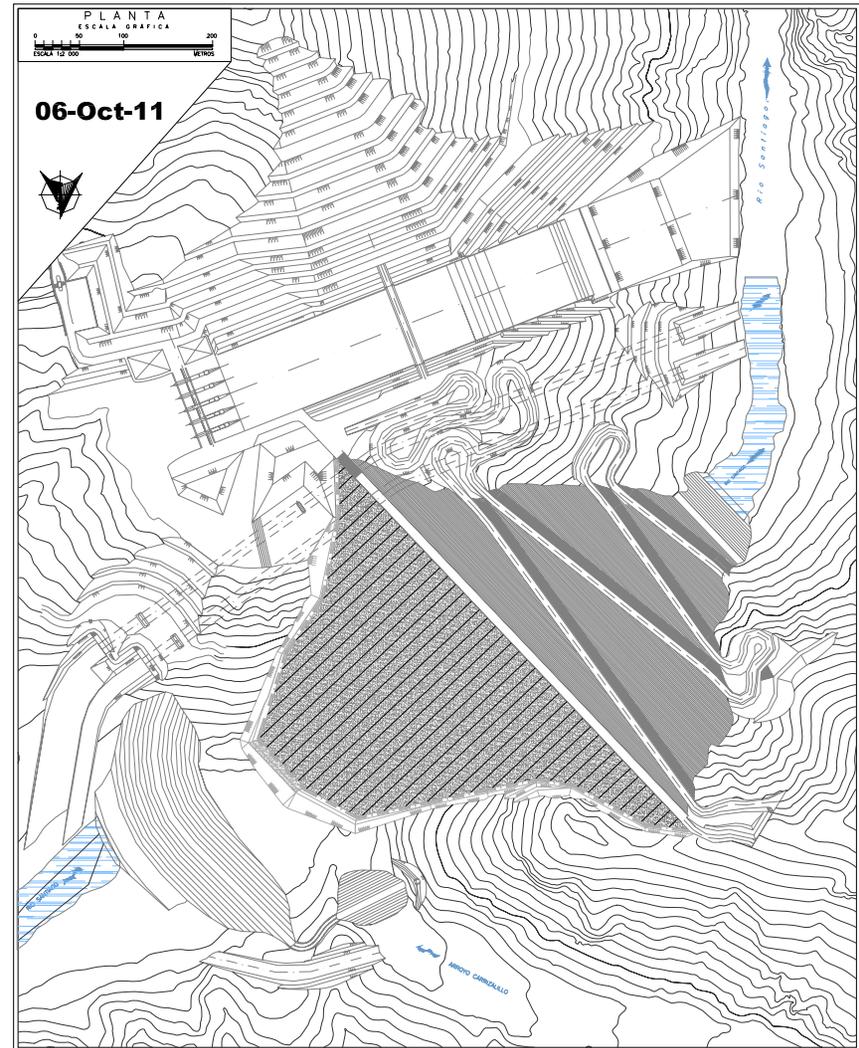
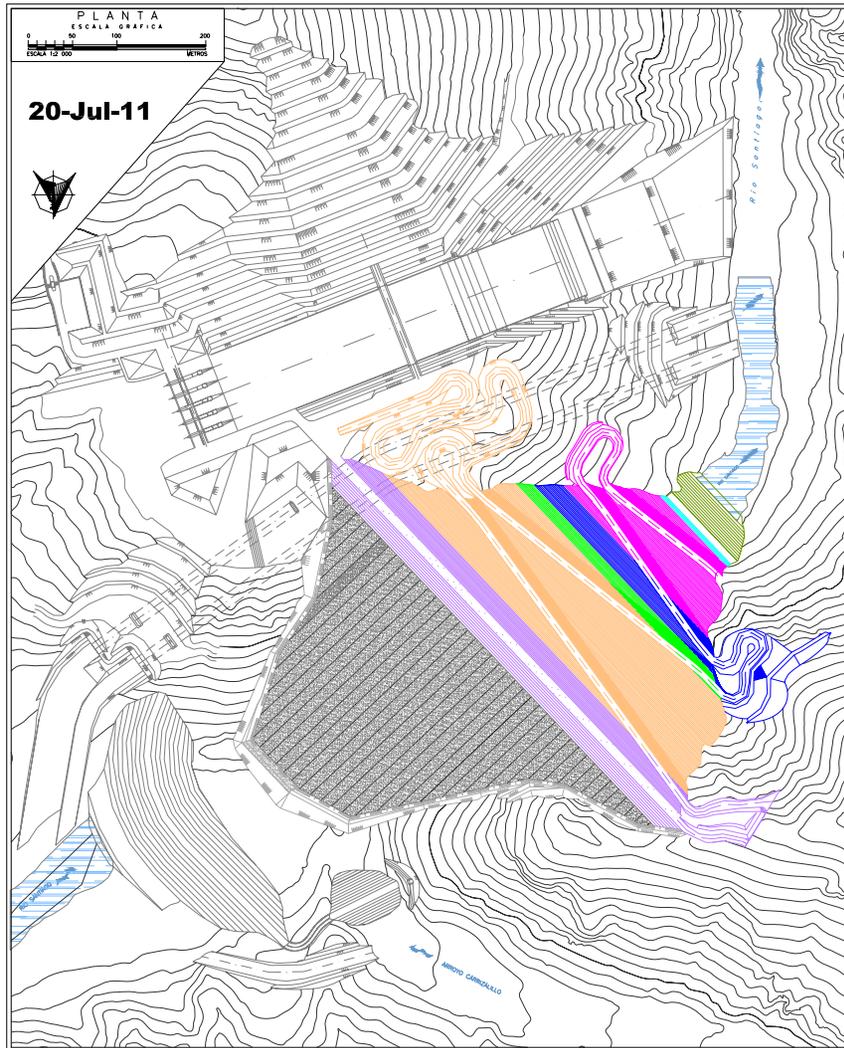


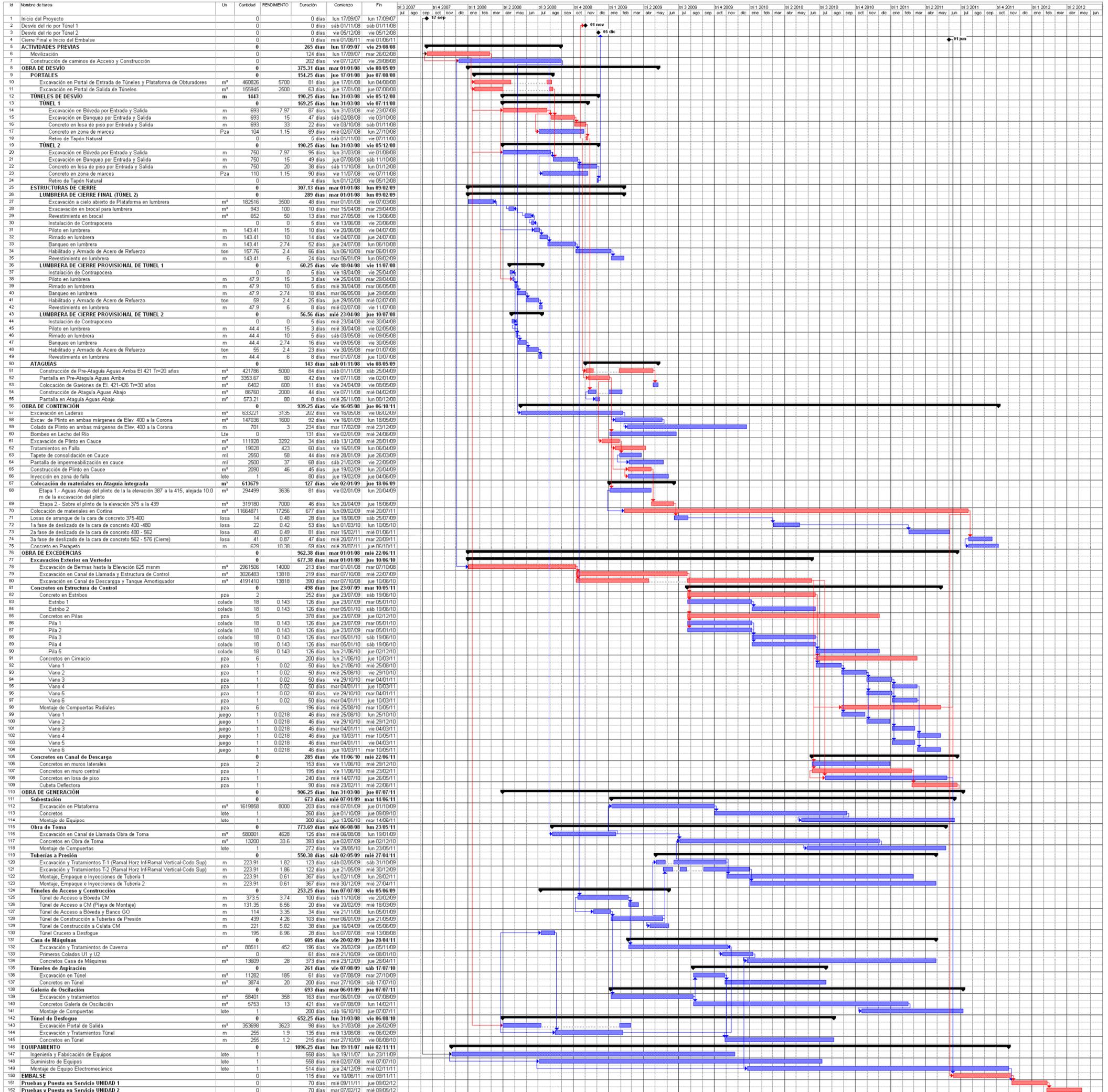
Figura IV.6.- Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención (Cont.)

LÁMINAS 13 Y 14



Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

IV.5. Programa General de Construcción (Optimizado)



## IV.6. Presupuesto (Optimizado)

Este presupuesto se obtuvo en base a las volumetrías obtenidas para el desarrollo de la optimización en el procedimiento constructivo de las obras de excedencias y de contención. El análisis de costos por estructura se realizó básicamente en base a los precios unitarios referentes a excavaciones, concretos, tratamientos y colocación de materiales de relleno.

En las ataguías se consideró que todos los materiales a colocar en estas estructuras, incluyendo el enrocamiento, provendrán de bancos de almacén, por lo que se consideró el 100 por ciento de acarreo almacén–ataguías por metro cúbico de material colocado.

| CONCEPTO  |   | UNIDAD               | CANTIDAD       | COSTO             | IMPORTE                |
|---|---|----------------------|----------------|-------------------|------------------------|
| <b>OBRA DE DESVÍO</b>                                 |   |                      |                |                   |                        |
| <b>PRE-ATAGUÍA AGUAS ARRIBA Y ATAGUÍA AGUAS ABAJO</b> |   |                      |                |                   |                        |
|   | EXCAVACIÓN DE LADERAS                               | m <sup>3</sup>       | 34,852         | \$43.65           | \$1,521,289.80         |
|   | COLOCACIÓN DE MATERIAL 3E                           | m <sup>3</sup>       | 11,660         | \$45.60           | \$531,658.04           |
|   | COLOCACIÓN DE MAT. ENROCAMIENTO 3E ATAGUÍAS         | m <sup>3</sup>       | 1.00           | \$9.28            | \$9.28                 |
|   | AFLOJE MATERIAL ALMACENADO                          | m <sup>3</sup>       | 0.50           | \$3.61            | \$1.81                 |
|   | ACARREO ALMACÉN - ATAGUÍAS                          | m <sup>3</sup>       | 1.00           | \$19.91           | \$19.91                |
|   | COSTOS INDIRECTOS                                   | %                    | 0.4711         | \$31.00           | \$14.60                |
|   | <b>COLOCACIÓN DE MATERIAL 3F</b>                    | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>7,797</b>   | <b>\$45.60</b>    | <b>\$355,517.82</b>    |
|   | COLOCACIÓN DE MAT. ENROCAMIENTO 3E ATAGUÍAS         | m <sup>3</sup>       | 1.00           | \$9.28            | \$9.28                 |
|   | AFLOJE MATERIAL ALMACENADO                          | m <sup>3</sup>       | 0.50           | \$3.61            | \$1.81                 |
|   | ACARREO ALMACÉN - ATAGUÍAS                          | m <sup>3</sup>       | 1.00           | \$19.91           | \$19.91                |
|   | COSTOS INDIRECTOS                                   | %                    | 0.4711         | \$31.00           | \$14.60                |
|   | <b>COLOCACIÓN DE MATERIAL 3D</b>                    | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>33,110</b>  | <b>\$81.91</b>    | <b>\$2,712,040.10</b>  |
|   | <b>COLOCACIÓN DE MATERIAL N</b>                     | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>107,790</b> | <b>\$88.21</b>    | <b>\$9,508,155.90</b>  |
|   | <b>COLOCACIÓN DE MATERIAL 3B</b>                    | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>130,096</b> | <b>\$82.68</b>    | <b>\$10,756,337.28</b> |
|   | <b>COLOCACIÓN DE MATERIAL T</b>                     | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>177,487</b> | <b>\$45.63</b>    | <b>\$8,098,051.41</b>  |
|   | COLOCACIÓN DE MAT. ROCA (TRANSICIÓN) ATAGUÍAS       | m <sup>3</sup>       | 1.00           | \$9.30            | \$9.30                 |
|   | AFLOJE MATERIAL ALMACENADO                          | m <sup>3</sup>       | 0.50           | \$3.61            | \$1.81                 |
|   | ACARREO ALMACÉN - ATAGUÍAS                          | m <sup>3</sup>       | 1.00           | \$19.91           | \$19.91                |
|   | COSTOS INDIRECTOS                                   | %                    | 0.4711         | \$31.02           | \$14.61                |
|   | <b>COLOCACIÓN DE MATERIAL 4A</b>                    | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>39,476</b>  | <b>\$43.31</b>    | <b>\$1,709,673.35</b>  |
|   | COLOCACIÓN MAT ENROC PROTECC 4A ATAG                | m <sup>3</sup>       | 1.00           | \$5.92            | \$5.92                 |
|   | SELECCIÓN DE MATERIAL                               | m <sup>3</sup>       | 1.00           | \$3.61            | \$3.61                 |
|   | ACARREO ALMACÉN - ATAGUÍAS                          | m <sup>3</sup>       | 1.00           | \$19.91           | \$19.91                |
|   | COSTOS INDIRECTOS                                   | %                    | 0.4711         | \$29.44           | \$13.87                |
|   | <b>COLOCACIÓN DE MATERIAL 3D'</b>                   | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>1,130</b>   | <b>\$56.80</b>    | <b>\$64,183.06</b>     |
|   | <b>MURO DE GAVIONES EN PRE-ATAGUÍA AGUAS ARRIBA</b> | <b>m<sup>3</sup></b> | <b>6,403</b>   | <b>\$1,313.68</b> | <b>\$8,411,477.60</b>  |
|   | <b>PANTALLAS PLÁSTICAS IMPERMEABLES</b>             | <b>m<sup>2</sup></b> | <b>3,927</b>   | <b>\$8,007.48</b> | <b>\$31,445,373.96</b> |
|   | <b>IMPORTE TOTAL ATAGUÍAS</b>                       |                      |                |                   | <b>\$75,113,938.45</b> |

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

En el caso de la cortina no todos los materiales a colocar provendrán de bancos de almacenamiento, un porcentaje de los materiales T, 3C y 4 provendrá directamente de las diferentes excavaciones, pero principalmente de las del vertedor. Al enrocamiento 1B y 3H, al igual que en las ataguías, se le consideró el 100 por ciento en el acarreo del almacén a la presa pues se colocará posterior a la cara de concreto y se tendrá que almacenar. Para obtener el porcentaje por metro cúbico de colocación que provendrá de bancos de almacenamiento en los materiales mencionados, y al cual se le cargará un costo extra por el acarreo almacén-presas, fue necesario calcular el almacén neto y obtener la proporción de éste con respecto al volumen total de enrocamiento a colocar que corresponda a estos tres materiales. Al porcentaje restante por metro cúbico de colocación no se le cargó un segundo acarreo almacén-presas pues llegará directo de las excavaciones, en las cuales ya se les habrá cargado un acarreo vertedor-presas.

| CONCEPTO                  |   | UNIDAD      | CANTIDAD         | COSTO                  | IMPORTE                   |
|---------------------------|---|-------------|------------------|------------------------|---------------------------|
| <b>OBRA DE CONTENCIÓN</b> |   |             |                  |                        |                           |
| <b>CORTINA</b>            |   |             |                  |                        |                           |
|                           | EXCAVACIÓN EN TODA LA ZONA DEL PLINTO, LAS LADERAS Y EL CAUCE DEL RÍO (387-390) | m³          | 965,672          | \$45.31                | \$43,756,292.96           |
|                           | MATERIAL DE APOYO DE LA CARA DE CONCRETO 2                                      | m³          | 362,800          | \$192.99               | \$70,018,081.35           |
|                           | MATERIAL DE APOYO DE LA CARA DE CONCRETO 2F                                     | m³          | 8,448            | \$195.30               | \$1,649,921.74            |
|                           | MATERIAL DE ALUVIÓN 3B EN CUERPO DE CORTINA                                     | m³          | 3,649,725        | \$103.12               | \$376,374,642.37          |
|                           | MATERIAL DE TRANSICIÓN T EN CUERPO DE CORTINA                                   | m³          | 4,137,898        | \$24.82                | \$102,692,449.62          |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. ROCA (TRANSICIÓN)  | m³          | 1.00             | \$11.24                | \$11.24                   |
|                           | MANEJO ALMACÉN (AFLOJE)   | m³          | 0.09             | \$3.61                 | \$0.31                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 0.267            | \$19.91                | \$5.32                    |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$16.87                | \$7.95                    |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO COMPACTADO 3C</b>                                   | <b>m³</b>   | <b>3,425,718</b> | <b>\$20.04</b>         | <b>\$68,652,566.04</b>    |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. DE ENROCAMIENTO  | m³          | 1.00             | \$8.03                 | \$8.03                    |
|                           | MANEJO ALMACÉN (AFLOJE)   | m³          | 0.08             | \$3.61                 | \$0.27                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 0.267            | \$19.91                | \$5.32                    |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$13.62                | \$6.42                    |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN 4</b>                                 | <b>m³</b>   | <b>167,636</b>   | <b>\$97.02</b>         | <b>\$16,263,597.57</b>    |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. PROTECCIÓN ENROC.  | m³          | 1.00             | \$56.64                | \$56.64                   |
|                           | SELECCIÓN DE MATERIAL   | m³          | 1.00             | \$3.61                 | \$3.61                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 0.267            | \$21.32                | \$5.70                    |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$65.95                | \$31.07                   |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN 1B</b>                                | <b>m³</b>   | <b>38,950</b>    | <b>\$71.79</b>         | <b>\$2,796,208.04</b>     |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN 3H</b>                                | <b>m³</b>   | <b>84,622</b>    | <b>\$45.71</b>         | <b>\$3,868,446.71</b>     |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. ENROC. 3H SIN COMPACTAR                                      | m³          | 1.00             | \$9.36                 | \$9.36                    |
|                           | MANEJO ALMACÉN (AFLOJE)   | m³          | 0.50             | \$3.61                 | \$1.81                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 1.00             | \$19.91                | \$19.91                   |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$31.08                | \$14.64                   |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN 3G</b>                                | <b>m³</b>   | <b>402,753</b>   | <b>\$40.90</b>         | <b>\$16,470,627.79</b>    |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. ENROC. 3H SIN COMPACTAR                                      | m³          | 0.65             | \$9.36                 | \$6.08                    |
|                           | MANEJO ALMACÉN (AFLOJE)   | m³          | 0.50             | \$3.61                 | \$1.81                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 1.00             | \$19.91                | \$19.91                   |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$27.80                | \$13.10                   |
|                           | <b>CONSTRUCCIÓN DEL PLINTO EXCLUYENDO EXCAVACIONES</b>                          | <b>m³</b>   | <b>5,585</b>     | <b>\$6,118.03</b>      | <b>\$34,169,171.81</b>    |
|                           | <b>CONSTRUCCIÓN DE LA CARA DE CONCRETO</b>                                      | <b>m³</b>   | <b>57,094</b>    | <b>\$4,336.39</b>      | <b>\$247,581,901.59</b>   |
|                           | <b>CONSTRUCCIÓN DEL PARAPETO</b>  | <b>m³</b>   | <b>4,965</b>     | <b>\$4,721.72</b>      | <b>\$23,443,320.51</b>    |
|                           | <b>JUNTAS DE TENSIÓN, DE COMPRESIÓN Y PERIMETRALES CON EL PLINTO</b>            | <b>lote</b> | <b>1</b>         | <b>\$60,681,076.53</b> | <b>\$60,681,076.53</b>    |
|                           | <b>BOMBEO DEL RECINTO</b>   | <b>lote</b> | <b>1</b>         | <b>\$15,099,351.16</b> | <b>\$15,099,351.16</b>    |
|                           | <b>IMPORTE TOTAL CORTINA</b>  |             |                  |                        | <b>\$1,083,517,884.27</b> |

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

Para la obra de excedencias se propusieron dos tipos de excavaciones, dos de carga y dos de acarreo: la primera para las excavaciones en suelo y otra para las excavaciones en roca. Las excavaciones en suelo se consideraron desperdicio por lo que el acarreo de éstas será directo del vertedor a los bancos de desperdicio; por otra parte, el enrocamiento tendrá dos diferentes destinos al momento del acarreo, directo a la cortina o a bancos de almacenamiento, y que por cualquiera de los dos se cargará lo mismo pues es un viaje. Los porcentajes utilizados corresponden a las consideraciones tomadas en el procedimiento contractivo de la obra de excedencias y sus secciones.

| CONCEPTO   | UNIDAD | CANTIDAD  | COSTO      | IMPORTE                   |
|--|--------|-----------|------------|---------------------------|
| <b>OBRA DE EXCEDENCIAS</b>   |        |           |            |                           |
| <b>BERMAS HASTA LA ELEVACIÓN 625</b>   |        |           |            |                           |
| EXCAVACIÓN DE BERMAS HASTA LA ELEVACIÓN 625  | m³     | 2,961,506 | \$38.96    | \$115,384,265.72          |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. SUELO   | m³     | 1.0       | \$5.79     | \$5.79                    |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. ROCA  | m³     | 0.0       | \$20.81    | \$0.00                    |
| CARGUE DE MAT. SUELO EN EXC. CIELO ABIERTO   | m³     | 1.0       | \$5.28     | \$5.28                    |
| CARGUE DE MAT. ROCA EN EXC. CIELO ABIERTO  | m³     | 0.0       | \$6.62     | \$0.00                    |
| ACARREO VERTEDOR - ZONA DESPERDICIO  | m³     | 1.0       | \$13.85    | \$13.85                   |
| ACARREO VERTEDOR - PRESA - ALMACÉN   | m³     | 0.0       | \$20.34    | \$0.00                    |
| DESPATE  | m³     | 0.350     | \$4.47     | \$1.56                    |
| COSTOS INDIRECTOS  | %      | 0.4711    | \$26.48    | \$12.48                   |
| TRATAMIENTOS EN TALUDES  | m³     | 2,961,506 | \$20.81    | \$61,628,939.86           |
| <b>CANAL DE LLAMADA Y ESTRUCTURA DE CONTROL</b>  |        |           |            |                           |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO   | m³     | 3,026,483 | \$68.96    | \$208,694,320.12          |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. SUELO   | m³     | 0.250     | \$5.79     | \$1.45                    |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. ROCA  | m³     | 0.750     | \$20.81    | \$15.61                   |
| BARRENACIÓN DE PRECORTE  | m      | 0.025     | \$103.98   | \$2.58                    |
| CARGUE DE MAT. SUELO EN EXC. CIELO ABIERTO   | m³     | 0.250     | \$5.28     | \$1.32                    |
| CARGUE DE MAT. ROCA EN EXC. CIELO ABIERTO  | m³     | 0.750     | \$6.62     | \$4.97                    |
| ACARREO VERTEDOR - ZONA DESPERDICIO  | m³     | 0.250     | \$13.85    | \$3.46                    |
| ACARREO VERTEDOR - PRESA - ALMACÉN   | m³     | 0.750     | \$20.34    | \$15.26                   |
| DESPATE  | m³     | 0.500     | \$4.47     | \$2.24                    |
| COSTOS INDIRECTOS  | %      | 0.4711    | \$46.87    | \$22.08                   |
| TRATAMIENTOS EN TALUDES  | m³     | 3,026,483 | \$18.55    | \$56,130,063.36           |
| CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE COMPUERTAS  | m³     | 104,105   | \$3,789.77 | \$394,534,913.59          |
| <b>CANAL DE DESCARGA Y TANQUE AMORTIGUADOR</b>   |        |           |            |                           |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO   | m³     | 4,190,410 | \$71.82    | \$300,947,333.51          |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. SUELO   | m³     | 0.183     | \$5.79     | \$1.06                    |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. ROCA  | m³     | 0.817     | \$20.81    | \$17.00                   |
| BARRENACIÓN DE PRECORTE  | m      | 0.023     | \$103.98   | \$2.37                    |
| CARGUE DE MAT. SUELO EN EXC. CIELO ABIERTO   | m³     | 0.183     | \$5.28     | \$0.97                    |
| CARGUE DE MAT. ROCA EN EXC. CIELO ABIERTO  | m³     | 0.767     | \$6.62     | \$5.08                    |
| CARGUE DE MAT. ROCA EN EXC. CIELO ABIERTO RETROEXCAVADO  | m³     | 0.050     | \$13.38    | \$0.67                    |
| ACARREO VERTEDOR - ZONA DESPERDICIO  | m³     | 0.183     | \$13.85    | \$2.53                    |
| ACARREO VERTEDOR - PRESA - ALMACÉN   | m³     | 0.767     | \$20.34    | \$15.60                   |
| ACARREO VERTEDOR - PRESA - ALMACÉN (RETROEXCAVADO)   | m³     | 0.050     | \$39.58    | \$1.98                    |
| DESPATE  | m³     | 0.350     | \$4.47     | \$1.56                    |
| COSTOS INDIRECTOS  | %      | 0.4711    | \$48.82    | \$23.00                   |
| TRATAMIENTOS EN TALUDES  | m³     | 4,190,410 | \$20.81    | \$87,202,432.10           |
| CONCRETOS EN CANAL DE DESCARGA Y CUBETA DEFLECTORA   | m³     | 59,273    | \$4,023.27 | \$238,469,809.97          |
| <b>IMPORTE TOTAL OBRA DE EXCEDENCIAS</b>   |        |           |            | <b>\$1,462,992,078.23</b> |
| <b>SOBRE-ACARREOS MATERIAL NO APROVECHABLE</b>   |        |           |            |                           |
| <b>MATERIAL SOBRANTE</b>   |        |           |            |                           |
| ACARREO EXTRA DEL MATERIAL SOBRANTE A ZONAS DESTINADAS PARA TAL FIN DE HASTA 1 Km. DE DISTANCIA. | m³     | 986,810   | \$9.80     | \$9,670,560.37            |
| <b>IMPORTE TOTAL MATERIAL NO APROVECHABLE</b>  |        |           |            | <b>\$9,670,560.37</b>     |
| <b>SUBTOTAL</b>  |        |           |            | <b>\$2,631,294,461.33</b> |

## IV.7. Presupuesto Correspondiente a un Vertedor con un Procedimiento de Construcción Anterior al Optimizado

### IV.7.1. Balance de Materiales

Al igual que en el procedimiento de construcción optimizado, en éste se tenía contemplado que no todo el material excavado en la obra de excedencias fuera aprovechable en la obra de contención; sin embargo, en esta alternativa se presentó un vertedor con un diseño muy distinto sobre todo en el área que comprendía las bermas de la margen izquierda, pero que tenía un volumen de excavación muy similar al del vertedor descrito en capítulos anteriores, en total 9'998,107 m<sup>3</sup>. Es por esto que para el análisis de la factibilidad constructiva de esta estructura se consideraron dos diferentes secciones de excavación con diferentes porcentajes de material aprovechable y no aprovechable, en relación a los considerados en el procedimiento optimizado. En la figura IV.7. se pueden observar estas secciones y sus respectivos porcentajes de desperdicio y de enrocamiento, de los cuales el volumen de este último siempre ha sido el principal banco de roca para la cortina.

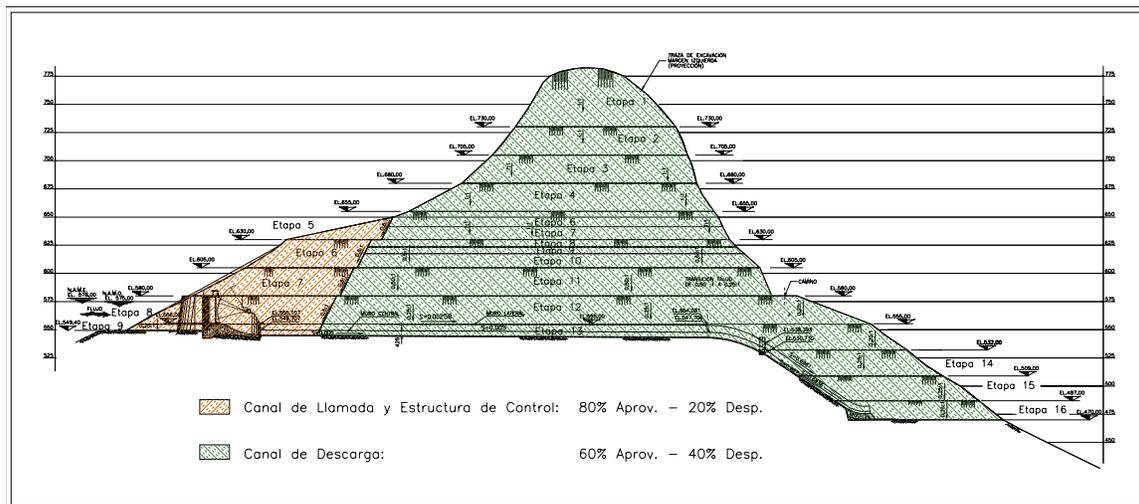


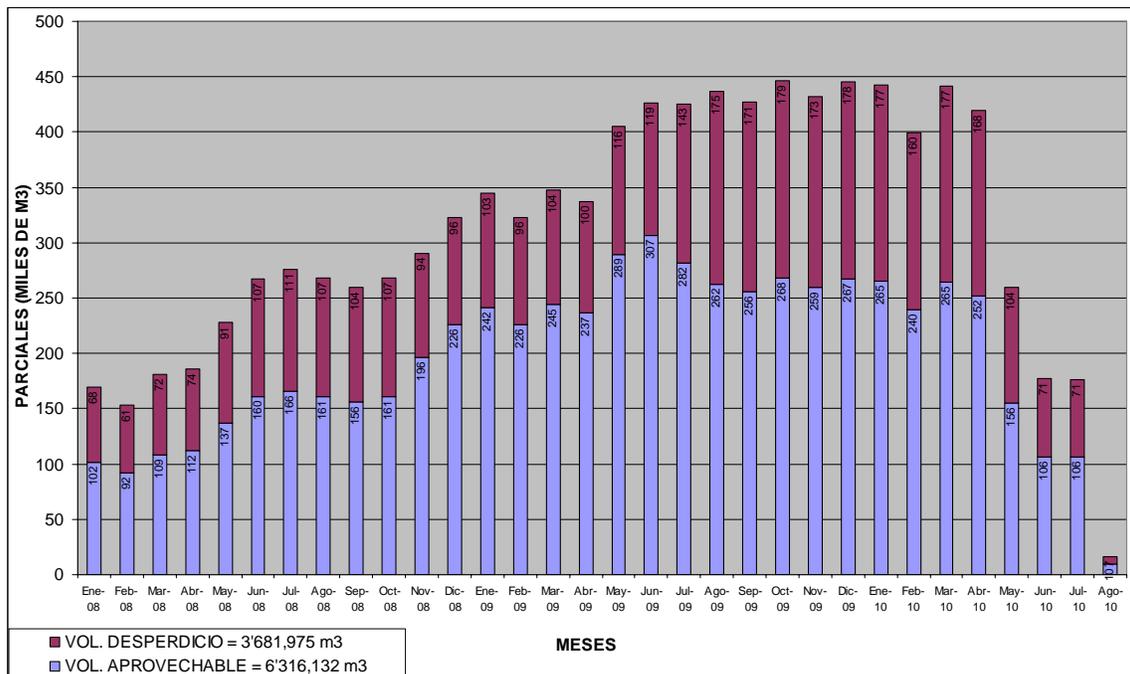
Figura IV.7.- Perfil del vertedor anterior con las consideraciones respectivas

Tomando en cuenta los porcentajes anteriores y después de haber calculado los volúmenes totales por sección, se calcularon los volúmenes de material aprovechable y de desperdicio, los cuales se muestran en la siguiente tabla IV.9.

|   | Volumen                        | %<br>Aprov. | Vol.<br>Aprovechable           | %<br>Desp. | Vol.<br>Desperdicio            |
|---|--------------------------------|-------------|--------------------------------|------------|--------------------------------|
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:red; border:1px solid black;"></span> Canal de Llamada y Estructura de Control | 1,586,343 m <sup>3</sup>       | 80%         | 1,269,074 m <sup>3</sup>       | 20%        | 317,269 m <sup>3</sup>         |
| <span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; background-color:limegreen; border:1px solid black;"></span> Canal de Descarga                  | 8,411,764 m <sup>3</sup>       | 60%         | 5,047,058 m <sup>3</sup>       | 40%        | 3,364,706 m <sup>3</sup>       |
| <b>Volúmenes Totales</b>  | <b>9,998,107 m<sup>3</sup></b> |             | <b>6,316,132 m<sup>3</sup></b> |            | <b>3,681,975 m<sup>3</sup></b> |

**Tabla IV.9.- Volúmenes de material aprovechable y de desperdicio**

De acuerdo al procedimiento constructivo de esta alternativa, el cual contemplaba excavar parejo desde la parte más alta hasta la parte más baja, se obtuvo el histograma correspondiente a la producción mensual de enrocamiento y de material de desperdicio (figura IV.8.). Como puede observarse el volumen de este último era muy constante a lo largo de toda la excavación de la obra de excedencias y la producción de material aprovechable no se detenía en ningún mes, lo que nos provocaba tener un mayor almacén antes de iniciar la colocación de material en la cortina.



**Figura IV.8.- Histograma de material aprovechable y de desperdicio**

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

Las excavaciones subterráneas generaban los mismos 621,754 m<sup>3</sup> de roca que en la alternativa optimizada, ya que estas excavaciones no cambiaron sus volumetrías; pero por otro lado, el volumen de roca generado por las excavaciones exteriores si presentaba un aumento debido al cambio en el procedimiento constructivo y diseño de la obra de excedencias (tabla IV.10.). Cabe señalar que las demás estructuras del proyecto no sufrieron ningún cambio por lo que los volúmenes que éstas generarán se mantuvieron de una alternativa a otra.

| EXCAVACIONES EXTERIORES                             | UNIDAD | CANTIDAD          | DESPERDICIO % | VOLUMEN APROVECHABLE |
|---|--------|-------------------|---------------|----------------------|
| <b>OBRAS DE DESVÍO</b>                              |        |                   |               |                      |
| <b>Ataguías</b>                                     |        |                   |               |                      |
| Excavación en laderas                               | m3     | 34,852            | 100           | 0                    |
| <b>Portales y estructuras de cierre</b>             |        |                   |               |                      |
| Excavación de portales de entrada y de salida       | m3     | 375,036           | 30            | 262,525              |
| Excavación de plataforma lum. provisional           | m3     | 241,735           | 30            | 169,215              |
| Excavación de plataforma lum. final                 | m3     | 182,516           | 20            | 146,013              |
| <b>OBRAS DE CONTENCIÓN</b>                          |        |                   |               |                      |
| Excavación en laderas                               | m3     | 633,221           | 100           | 0                    |
| Excavación en el cauce                              | m3     | 73,487            | 0             | 73,487               |
| Excavación del plinto                               | m3     | 258,964           | 40            | 155,378              |
| <b>OBRA DE GENERACIÓN</b>                           |        |                   |               |                      |
| Excavación en canal de obra de toma                 | m3     | 580,001           | 100           | 0                    |
| Excavación en portal del desfogue                   | m3     | 353,698           | 30            | 247,589              |
| Excavación en plataforma a la elev. 426             | m3     | 351,457           | 100           | 0                    |
| Excavación en subestación elevadora                 | m3     | 1,619,858         | 25            | 1,214,894            |
| <b>OBRAS DE EXCEDENCIAS</b>                         |        |                   |               |                      |
| Excav. Canal de Llamada y Est. Control              | m3     | 1,586,343         | 20            | 1,269,074            |
| Excav. Bermas hasta la elev. 630                    | m3     | 3,289,414         | 40            | 1,973,648            |
| Excav. Canal de Descarga                            | m3     | 5,122,350         | 40            | 3,073,410            |
| <b>TOTALES</b>                                      |        | <b>14,702,932</b> |               | <b>8,585,233</b>     |
| <b>VOLUMEN APROVECHABLE EXCAVACIONES EXTERIORES</b> |        |                   |               | <b>8,585,233</b>     |
| <b>VOLUMEN DESPERDICIO EXCAVACIONES EXTERIORES</b>  |        |                   |               | <b>6,117,699</b>     |

**Tabla IV.10.- Volúmenes de roca excavaciones exteriores**

El volumen total de material aprovechable que se colocaba en la cortina en esta alternativa se muestra en la siguiente tabla IV.11, éste es la suma de los materiales aprovechables multiplicada por un factor del 10 por ciento.

|  | Volumen de Excavaciones m3 | Material Aprovechable m3 |
|--|----------------------------|--------------------------|
| Obras subterráneas                       | 654,478                    | 621,754                  |
| Obras exteriores                         | 14,702,932                 | 8,585,233                |
| <b>TOTAL MATERIAL</b>                    | <b>15,357,410</b>          | <b>9,206,987</b>         |
| <b>FACTOR DE CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA</b> |                            | 1.1 <b>10,127,685</b>    |

**Tabla IV.11.- Volumen total de material aprovechable**

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias y de Contención del P. H. La Yesca

Con todas las consideraciones descritas anteriormente se pudo desarrollar entonces el balance de materiales correspondiente a esta alternativa, la cual no presentaba un estudio de optimización con el fin de disminuir el material de desperdicio (tabla IV.12.).

| NECESIDADES DE MATERIALES, CORTINA DE ENROCAMIENTO CON CARA DE CONCRETO |              |   |   |               |                                  |   |                         |                  |            |
|---|--------------|---|---|---------------|----------------------------------|---|-------------------------|------------------|------------|
| CONCEPTO  | ENROCAMIENTO |   |   | ALUVIÓN<br>3B | MATERIALES QUE REQUIEREN PROCESO |   |                         | ARCILLA<br>1B, N | TOTAL      |
|   | 3C, 3G, 3H   | 4 | T |               | 2F                               | 2 | AGREGADOS PARA CONCRETO |                  |            |
| VOLUMENES DE MATERIAL EN M3   | 8,456,177    |   |   | 3,812,931     | 875,081                          |   |                         | 146,740          | 13,290,929 |
| NECESIDADES TOTALES   | 8,456,177    |   |   | 4,688,012     |                                  |   | 146,740                 | 13,290,929       |            |

| EXISTENCIAS DE MATERIALES PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN EN ESTRUCTURAS, BANCOS DE ALUVIÓN Y ARCILLA |  |                            |  |         |            |
|---|--|----------------------------|--|---------|------------|
| CONCEPTO  | MATERIAL ÚTIL PRODUCTO DE LA EXCAVACIÓN EN ESTRUCTURAS | MATERIAL BANCOS DE ALUVIÓN |  | ARCILLA | TOTAL      |
| EXISTENCIAS DE MATERIAL EN M3   | 10,127,685   | 4,688,012                  |  | 146,740 | 14,962,437 |

| SOBRANTES DE MATERIALES     |             |                                     |  |         |           |
|-----------------------------|-------------|-------------------------------------|--|---------|-----------|
| CONCEPTO                    | DESPERDICIO | ALUVIÓN PROCESAMIENTO DE MATERIALES |  | ARCILLA | TOTAL     |
| SOBRANTES DE MATERIAL EN M3 | 1,671,509   | 0                                   |  | 0       | 1,671,509 |

**Tabla IV.12.- Balance de Materiales**

En esta balance de materiales se muestra como los 8'456,177 m<sup>3</sup> de necesidades de enrocamiento no cambiaron pues las ataguías y la obra de contención no se modificaron entre una alternativa y la otra. Sin embargo, las existencias totales de roca que se presentaron con el procedimiento constructivo de este vertedor eran mayores a las del procedimiento optimizado, ya que por las causas mencionadas anteriormente se elevaban a 10'127,685 m<sup>3</sup>, lo que nos generaba 1'671,509 m<sup>3</sup> de material de buena calidad que se consideraría desperdicio. Por último cabe señalar que el aluvión y la arcilla se comportaron igual en ambas alternativas.

En la tabla IV.13. se puede observar el desperdicio total, el cual era producto de la suma del material sobrante y del material de desperdicio producto de las excavaciones en las diferentes estructuras. Los destinos finales de estos volúmenes de material fueron los mismos que se tienen planeados para la alternativa optimizada.

| DESPERDICIO TOTAL                   |                                |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| MATERIAL SOBRANTE                   | 1,671,509 m <sup>3</sup>       |
| VOLUMEN DESPERDICIO DE EXCAVACIONES | 6,150,423 m <sup>3</sup>       |
| <b>DESPERDICIO TOTAL</b>            | <b>7,821,932 m<sup>3</sup></b> |

**Tabla IV.13.- Material no aprovechable**

### IV.7.2. Histograma de Manejo de Materiales

El volumen a almacenar al principio de los trabajos era de 4'581,982 m<sup>3</sup>, los cuales se obtuvieron al restar, en el histograma (figura IV.9.), en el mes de abril del 2009 los respectivos acumulados de la producción de material menos la colocación de éste en la cortina.

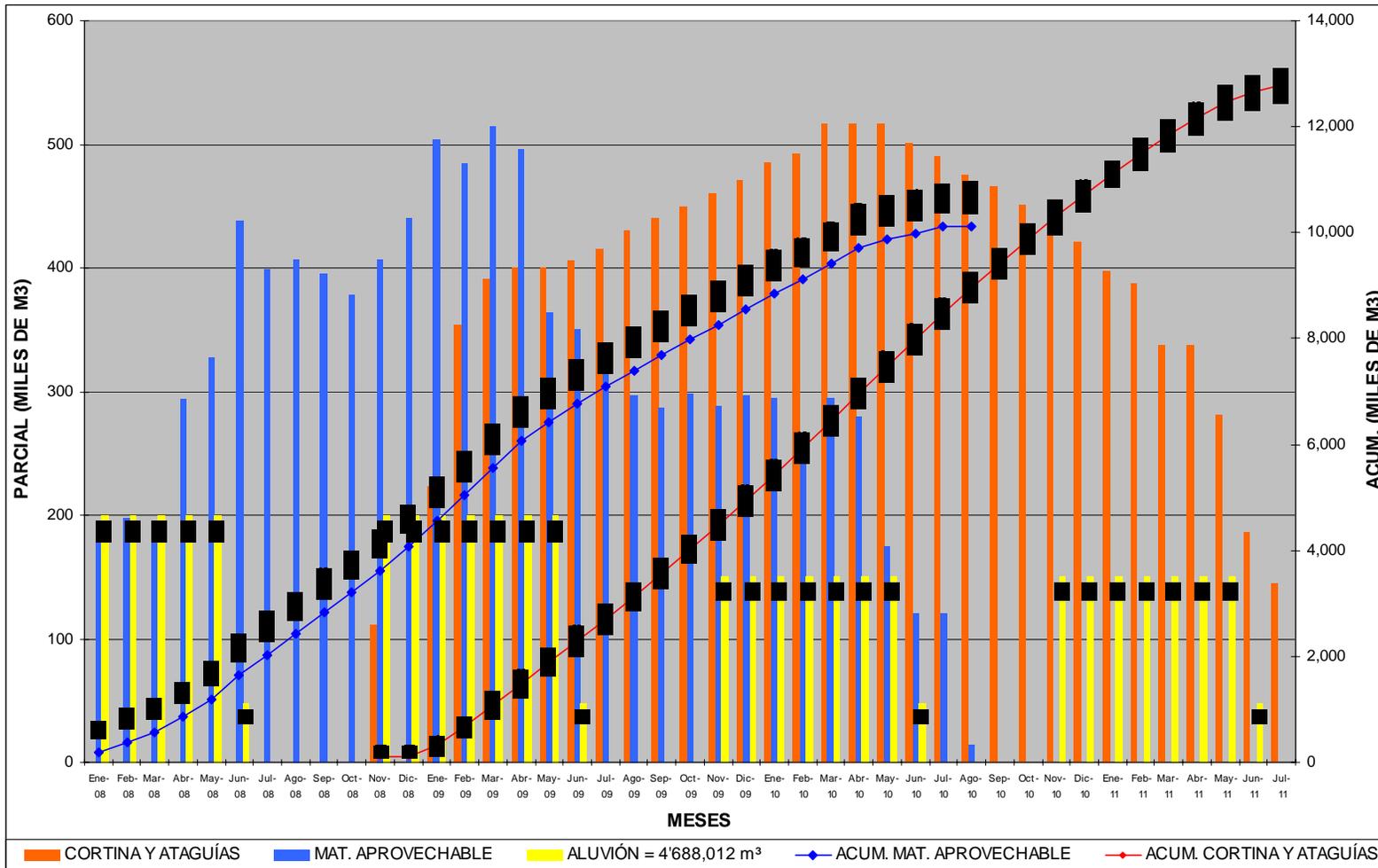


Figura IV.9.- Histograma de manejo de materiales sin optimizar

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

### IV.7.3. Presupuesto

Este presupuesto se calculó con el mismo procedimiento con el que se calculó el presupuesto optimizado, pero simplemente cambiando los volúmenes que en esta alternativa eran distintos a la otra, así como los porcentajes previamente definidos.

En el caso particular de las ataguías tanto los volúmenes como los procedimientos constructivos no cambian en lo absoluto de una alternativa a la otra y por lo tanto el costo en la optimización no se modificó con respecto al de esta alternativa.

| CONCEPTO  | UNIDAD         | CANTIDAD | COSTO      | IMPORTE                |
|---|----------------|----------|------------|------------------------|
| <b>OBRA DE DESVÍO</b>                                 |                |          |            |                        |
| <b>PRE-ATAGUÍA AGUAS ARRIBA Y ATAGUÍA AGUAS ABAJO</b> |                |          |            |                        |
| EXCAVACIÓN DE LADERAS                                 | m <sup>3</sup> | 34,852   | \$43.65    | \$1,521,289.80         |
| COLOCACIÓN DE MATERIAL 3E                             | m <sup>3</sup> | 11,660   | \$45.60    | \$531,658.04           |
| COLOCACIÓN DE MAT. ENROCAMIENTO 3E ATAGUÍAS           | m <sup>3</sup> | 1.00     | \$9.28     | \$9.28                 |
| AFLOJE MATERIAL ALMACENADO                            | m <sup>3</sup> | 0.50     | \$3.61     | \$1.81                 |
| ACARREO ALMACÉN - ATAGUÍAS                            | m <sup>3</sup> | 1.00     | \$19.91    | \$19.91                |
| COSTOS INDIRECTOS                                     | %              | 0.4711   | \$31.00    | \$14.60                |
| COLOCACIÓN DE MATERIAL 3F                             | m <sup>3</sup> | 7,797    | \$45.60    | \$355,517.82           |
| COLOCACIÓN DE MAT. ENROCAMIENTO 3E ATAGUÍAS           | m <sup>3</sup> | 1.00     | \$9.28     | \$9.28                 |
| AFLOJE MATERIAL ALMACENADO                            | m <sup>3</sup> | 0.50     | \$3.61     | \$1.81                 |
| ACARREO ALMACÉN - ATAGUÍAS                            | m <sup>3</sup> | 1.00     | \$19.91    | \$19.91                |
| COSTOS INDIRECTOS                                     | %              | 0.4711   | \$31.00    | \$14.60                |
| COLOCACIÓN DE MATERIAL 3D                             | m <sup>3</sup> | 33,110   | \$81.91    | \$2,712,040.10         |
| COLOCACIÓN DE MATERIAL N                              | m <sup>3</sup> | 107,790  | \$88.21    | \$9,508,155.90         |
| COLOCACIÓN DE MATERIAL 3B                             | m <sup>3</sup> | 130,096  | \$82.68    | \$10,756,337.28        |
| COLOCACIÓN DE MATERIAL T                              | m <sup>3</sup> | 177,487  | \$45.63    | \$8,098,051.41         |
| COLOCACIÓN DE MAT. ROCA (TRANSICIÓN) ATAGUÍAS         | m <sup>3</sup> | 1.00     | \$9.30     | \$9.30                 |
| AFLOJE MATERIAL ALMACENADO                            | m <sup>3</sup> | 0.50     | \$3.61     | \$1.81                 |
| ACARREO ALMACÉN - ATAGUÍAS                            | m <sup>3</sup> | 1.00     | \$19.91    | \$19.91                |
| COSTOS INDIRECTOS                                     | %              | 0.4711   | \$31.02    | \$14.61                |
| COLOCACIÓN DE MATERIAL 4A                             | m <sup>3</sup> | 39,476   | \$43.31    | \$1,709,673.35         |
| COLOCACIÓN MAT ENROC PROTECC 4A ATAG                  | m <sup>3</sup> | 1.00     | \$5.92     | \$5.92                 |
| SELECCIÓN DE MATERIAL                                 | m <sup>3</sup> | 1.00     | \$3.61     | \$3.61                 |
| ACARREO ALMACÉN - ATAGUÍAS                            | m <sup>3</sup> | 1.00     | \$19.91    | \$19.91                |
| COSTOS INDIRECTOS                                     | %              | 0.4711   | \$29.44    | \$13.87                |
| COLOCACIÓN DE MATERIAL 3D'                            | m <sup>3</sup> | 1,130    | \$56.80    | \$64,183.06            |
| MURO DE GAVIONES EN PRE-ATAGUÍA AGUAS ARRIBA          | m <sup>3</sup> | 6,403    | \$1,313.68 | \$8,411,477.60         |
| PANTALLAS PLÁSTICAS IMPERMEABLES                      | m <sup>2</sup> | 3,927    | \$8,007.48 | \$31,445,373.96        |
| <b>IMPORTE TOTAL ATAGUÍAS</b>                         |                |          |            | <b>\$75,113,938.45</b> |

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

Como se puede observar en esta alternativa el porcentaje por metro cúbico de colocación utilizado en los acarreos almacén-presa de los materiales T, 3C y 4 era mayor que el considerado para el material proveniente de los bancos de almacenamiento en la optimización, el cual en aquella alternativa se había tratado de disminuir al máximo con el fin de poder colocar el material proveniente del vertedor directo en la cortina, y pues en esta alternativa era mucho el material que se almacenaba al principio de los trabajos, lo que hacía que el costo de la obra de contención se aumentara debido a la doble carga y al doble acarreo del enrocamiento, uno del origen a los bancos de almacén y el otro de estos al lugar de colocación.

| CONCEPTO                  |   | UNIDAD      | CANTIDAD         | COSTO                  | IMPORTE                   |
|---------------------------|---|-------------|------------------|------------------------|---------------------------|
| <b>OBRA DE CONTENCIÓN</b> |   |             |                  |                        |                           |
| <b>CORTINA</b>            |   |             |                  |                        |                           |
|                           | EXCAVACIÓN EN TODA LA ZONA DEL PLINTO, LAS LADERAS Y EL CAUCE DEL RÍO (387-390) | m³          | 965,672          | \$45.31                | \$43,756,292.96           |
|                           | MATERIAL DE APOYO DE LA CARA DE CONCRETO 2                                      | m³          | 362,800          | \$192.99               | \$70,018,081.35           |
|                           | MATERIAL DE APOYO DE LA CARA DE CONCRETO 2F                                     | m³          | 8,448            | \$195.30               | \$1,649,921.74            |
|                           | MATERIAL DE ALUVIÓN 3B EN CUERPO DE CORTINA                                     | m³          | 3,649,725        | \$103.12               | \$376,374,642.37          |
|                           | MATERIAL DE TRANSICIÓN T EN CUERPO DE CORTINA                                   | m³          | 4,137,898        | \$25.27                | \$104,557,683.15          |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. ROCA (TRANSICIÓN)  | m³          | 1.00             | \$11.24                | \$11.24                   |
|                           | MANEJO ALMACÉN (AFLOJE)   | m³          | 0.09             | \$3.61                 | \$0.31                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 0.283            | \$19.91                | \$5.63                    |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$17.18                | \$8.09                    |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO COMPACTADO 3C</b>                                   | <b>m³</b>   | <b>3,425,718</b> | <b>\$20.49</b>         | <b>\$70,196,771.36</b>    |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. DE ENROCAMIENTO  | m³          | 1.00             | \$8.03                 | \$8.03                    |
|                           | MANEJO ALMACÉN (AFLOJE)   | m³          | 0.08             | \$3.61                 | \$0.27                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 0.283            | \$19.91                | \$5.63                    |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$13.93                | \$6.56                    |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN 4</b>                                 | <b>m³</b>   | <b>167,636</b>   | <b>\$97.50</b>         | <b>\$16,344,514.00</b>    |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. PROTECCIÓN ENROC.  | m³          | 1.00             | \$56.64                | \$56.64                   |
|                           | SELECCIÓN DE MATERIAL   | m³          | 1.00             | \$3.61                 | \$3.61                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 0.283            | \$21.32                | \$6.03                    |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$66.28                | \$31.22                   |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN 1B</b>                                | <b>m³</b>   | <b>38,950</b>    | <b>\$71.79</b>         | <b>\$2,796,208.04</b>     |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN 3H</b>                                | <b>m³</b>   | <b>84,622</b>    | <b>\$45.71</b>         | <b>\$3,868,446.71</b>     |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. ENROC. 3H SIN COMPACTAR                                      | m³          | 1.00             | \$9.36                 | \$9.36                    |
|                           | MANEJO ALMACÉN (AFLOJE)   | m³          | 0.50             | \$3.61                 | \$1.81                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 1.00             | \$19.91                | \$19.91                   |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$31.08                | \$14.64                   |
|                           | <b>MATERIAL DE ENROCAMIENTO DE PROTECCIÓN 3G</b>                                | <b>m³</b>   | <b>402,753</b>   | <b>\$40.90</b>         | <b>\$16,470,627.79</b>    |
|                           | COLOCACIÓN DE MAT. ENROC. 3H SIN COMPACTAR                                      | m³          | 0.65             | \$9.36                 | \$6.08                    |
|                           | MANEJO ALMACÉN (AFLOJE)   | m³          | 0.50             | \$3.61                 | \$1.81                    |
|                           | ACARREO ALMACÉN - PRESA   | m³          | 1.00             | \$19.91                | \$19.91                   |
|                           | COSTOS INDIRECTOS   | %           | 0.4711           | \$27.80                | \$13.10                   |
|                           | <b>CONSTRUCCIÓN DEL PLINTO EXCLUYENDO EXCAVACIONES</b>                          | <b>m³</b>   | <b>5,585</b>     | <b>\$6,118.03</b>      | <b>\$34,169,171.81</b>    |
|                           | <b>CONSTRUCCIÓN DE LA CARA DE CONCRETO</b>                                      | <b>m³</b>   | <b>57,094</b>    | <b>\$4,336.39</b>      | <b>\$247,581,901.59</b>   |
|                           | <b>CONSTRUCCIÓN DEL PARAPETO</b>  | <b>m³</b>   | <b>4,965</b>     | <b>\$4,721.72</b>      | <b>\$23,443,320.51</b>    |
|                           | <b>JUNTAS DE TENSIÓN, DE COMPRESIÓN Y PERIMETRALES CON EL PLINTO</b>            | <b>lote</b> | <b>1</b>         | <b>\$60,681,076.53</b> | <b>\$60,681,076.53</b>    |
|                           | <b>BOMBEO DEL RECINTO</b>   | <b>lote</b> | <b>1</b>         | <b>\$15,099,351.16</b> | <b>\$15,099,351.16</b>    |
|                           | <b>IMPORTE TOTAL CORTINA</b>  |             |                  |                        | <b>\$1,087,008,240.92</b> |

Optimización del Procedimiento Constructivo de las Obras de Excedencias  
y de Contención del P. H. La Yesca

En la obra de excedencias los volúmenes de excavación eran distintos por el diseño del vertedor y los porcentajes de material aprovechable y de desperdicio que se habían considerado de manera diferente, lo que representaba un aumento en el costo de esta estructura con respecto a la alternativa optimizada. Donde si se pudo observar una notoria diferencia entre alternativas fue en el sobre acarreo del material aprovechable que es considerado desperdicio por ser un excedente de material a colocar en cortina, ya que en la optimización éste se había tratado de disminuir al máximo.

| CONCEPTO   | UNIDAD | CANTIDAD  | COSTO      | IMPORTE                   |
|--|--------|-----------|------------|---------------------------|
| <b>OBRA DE EXCEDENCIAS</b>   |        |           |            |                           |
| <b>BERMAS HASTA LA ELEVACIÓN 630</b>   |        |           |            |                           |
| EXCAVACIÓN DE BERMAS HASTA LA ELEVACIÓN 630  | m³     | 3,289,414 | \$59.13    | \$194,503,473.99          |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. SUELO   | m³     | 0.4       | \$5.79     | \$2.32                    |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. ROCA  | m³     | 0.6       | \$20.81    | \$12.49                   |
| CARGUE DE MAT. SUELO EN EXC. CIELO ABIERTO   | m³     | 0.4       | \$5.28     | \$2.11                    |
| CARGUE DE MAT. ROCA EN EXC. CIELO ABIERTO  | m³     | 0.6       | \$6.62     | \$3.97                    |
| ACARREO VERTEDOR - ZONA DESPERDICIO  | m³     | 0.4       | \$13.85    | \$5.54                    |
| ACARREO VERTEDOR - PRESA - ALMACÉN   | m³     | 0.6       | \$20.34    | \$12.20                   |
| DESPATE  | m³     | 0.350     | \$4.47     | \$1.56                    |
| COSTOS INDIRECTOS  | %      | 0.4711    | \$40.19    | \$18.94                   |
| TRATAMIENTOS EN TALUDES  | m³     | 3,289,414 | \$20.81    | \$68,452,705.34           |
| <b>CANAL DE LLAMADA Y ESTRUCTURA DE CONTROL</b>  |        |           |            |                           |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO   | m³     | 1,586,343 | \$70.64    | \$112,054,167.97          |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. SUELO   | m³     | 0.200     | \$5.79     | \$1.16                    |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. ROCA  | m³     | 0.800     | \$20.81    | \$16.65                   |
| BARRENACIÓN DE PRECORTE  | m      | 0.025     | \$103.98   | \$2.58                    |
| CARGUE DE MAT. SUELO EN EXC. CIELO ABIERTO   | m³     | 0.200     | \$5.28     | \$1.06                    |
| CARGUE DE MAT. ROCA EN EXC. CIELO ABIERTO  | m³     | 0.800     | \$6.62     | \$5.30                    |
| ACARREO VERTEDOR - ZONA DESPERDICIO  | m³     | 0.200     | \$13.85    | \$2.77                    |
| ACARREO VERTEDOR - PRESA - ALMACÉN   | m³     | 0.800     | \$20.34    | \$16.27                   |
| DESPATE  | m³     | 0.500     | \$4.47     | \$2.24                    |
| COSTOS INDIRECTOS  | %      | 0.4711    | \$48.02    | \$22.62                   |
| TRATAMIENTOS EN TALUDES  | m³     | 1,586,343 | \$18.55    | \$29,420,794.07           |
| CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA DE COMPUERTAS  | m³     | 104,105   | \$3,789.77 | \$394,534,913.59          |
| <b>CANAL DE DESCARGA</b>   |        |           |            |                           |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO   | m³     | 5,122,350 | \$64.52    | \$330,513,158.69          |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. SUELO   | m³     | 0.400     | \$5.79     | \$2.32                    |
| EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO EN MAT. ROCA  | m³     | 0.600     | \$20.81    | \$12.49                   |
| BARRENACIÓN DE PRECORTE  | m      | 0.023     | \$103.98   | \$2.37                    |
| CARGUE DE MAT. SUELO EN EXC. CIELO ABIERTO   | m³     | 0.400     | \$5.28     | \$2.11                    |
| CARGUE DE MAT. ROCA EN EXC. CIELO ABIERTO  | m³     | 0.550     | \$6.62     | \$3.64                    |
| CARGUE DE MAT. ROCA EN EXC. CIELO ABIERTO RETROEXCAVADO  | m³     | 0.050     | \$13.38    | \$0.67                    |
| ACARREO VERTEDOR - ZONA DESPERDICIO  | m³     | 0.400     | \$13.85    | \$5.54                    |
| ACARREO VERTEDOR - PRESA - ALMACÉN   | m³     | 0.550     | \$20.34    | \$11.19                   |
| ACARREO VERTEDOR - PRESA - ALMACÉN (RETROEXCAVADO)   | m³     | 0.050     | \$39.58    | \$1.98                    |
| DESPATE  | m³     | 0.350     | \$4.47     | \$1.56                    |
| COSTOS INDIRECTOS  | %      | 0.4711    | \$43.86    | \$20.66                   |
| TRATAMIENTOS EN TALUDES  | m³     | 5,122,350 | \$20.81    | \$106,596,103.50          |
| CONCRETOS EN CANAL DE DESCARGA Y CUBETA DEFLECTORA   | m³     | 59,273    | \$4,023.27 | \$238,469,809.97          |
| <b>IMPORTE TOTAL OBRA DE EXCEDENCIAS</b>   |        |           |            | <b>\$1,474,545,127.11</b> |
| <b>SOBRE-ACARREOS MATERIAL NO APROVECHABLE</b>   |        |           |            |                           |
| <b>MATERIAL SOBRANTE</b>   |        |           |            |                           |
| ACARREO EXTRA DEL MATERIAL SOBRANTE A ZONAS DESTINADAS PARA TAL FIN DE HASTA 1 Km. DE DISTANCIA. | m³     | 1,671,509 | \$9.80     | \$16,380,487.33           |
| <b>IMPORTE TOTAL MATERIAL NO APROVECHABLE</b>  |        |           |            | <b>\$16,380,487.33</b>    |
| <b>SUBTOTAL</b>  |        |           |            | <b>\$2,653,047,793.82</b> |

#### IV.8. Comparativa de Costos

En los siguientes resúmenes de presupuestos se puede observar como con la optimización del procedimiento constructivo de las obras de excedencias y de contención, propuesta en esta tesis, se pueden ahorrar \$ 21'753,332.49 de pesos mexicanos.

##### PRESUPUESTO ANTERIOR

| CONCEPTO                                       | IMPORTE                   |
|--|---------------------------|
| <b>OBRA DE DESVÍO</b>                          |                           |
| IMPORTE TOTAL ATAGUÍAS                         | \$75,113,938.45           |
| <b>OBRA DE CONTENCIÓN</b>                      |                           |
| IMPORTE TOTAL CORTINA                          | \$1,087,008,240.92        |
| <b>OBRA DE EXCEDENCIAS</b>                     |                           |
| IMPORTE TOTAL OBRA DE EXCEDENCIAS              | \$1,474,545,127.11        |
| <b>SOBRE-ACARREOS MATERIAL NO APROVECHABLE</b> |                           |
| IMPORTE TOTAL MATERIAL NO APROVECHABLE         | \$16,380,487.33           |
| <b>SUBTOTAL</b>                                | <b>\$2,653,047,793.82</b> |

##### PRESUPUESTO OPTIMIZADO

| CONCEPTO                                       | IMPORTE                   |
|--|---------------------------|
| <b>OBRA DE DESVÍO</b>                          |                           |
| IMPORTE TOTAL ATAGUÍAS                         | \$75,113,938.45           |
| <b>OBRA DE CONTENCIÓN</b>                      |                           |
| IMPORTE TOTAL CORTINA                          | \$1,083,517,884.27        |
| <b>OBRA DE EXCEDENCIAS</b>                     |                           |
| IMPORTE TOTAL OBRA DE EXCEDENCIAS              | \$1,462,992,078.23        |
| <b>SOBRE-ACARREOS MATERIAL NO APROVECHABLE</b> |                           |
| IMPORTE TOTAL MATERIAL NO APROVECHABLE         | \$9,670,560.37            |
| <b>SUBTOTAL</b>                                | <b>\$2,631,294,461.33</b> |

## V. CONCLUSIONES Y RESULTADOS

### Conclusiones

Desde que en la década de los 50's se empezó a estudiar el Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, éste ha sufrido innumerables cambios. En la actualidad, gracias a que la C. F. E. ha retomado esta obra para su construcción, se han realizado una infinidad de estudios con el fin de determinar la más adecuada ingeniería de diseño que lo conformará.

Como bien se sabe, han existido muchas alternativas que han contemplado diferentes y muy específicos arreglos en el diseño de cada una de las estructuras, pero muy en particular el de la obra de excedencias y de contención. Aunque cada una de estas alternativas fue muy distinta a cualquier otra en todas siempre existió un objetivo común, el de optimizar el procedimiento constructivo de las obras de excedencias y de contención utilizando en la cortina el material de buena calidad proveniente de las excavaciones en las diferentes estructuras, pero sobre todo, el proveniente de la gran cantidad de material que del vertedor se generará.

Con lo anterior y después de haber analizado pasadas alternativas, como la que contemplaba una casa de máquinas exterior en la misma margen que el vertedor, la que presentaba un arreglo donde la obra de excedencias era consistente en tres túneles vertedores y por último la alternativa presentada en esta tesis como comparación, en la que la estructura de control aún no se había girado 14°, así se empezaron a hacer estudios para conformar este trabajo de tesis con la información más actual y la que servirá a los licitantes del concurso para la construcción del P. H. La Yesca a realizar sus propuestas.

A diferencia de las alternativas anteriores las cuales proponían, por falta de buenos estudios geotécnicos, diseños para el vertedor con bermas que no garantizaban la

estabilidad de taludes y otros donde, por ganar estabilidad, el volumen de excavación era excesivo, la información recibida a marzo del 2007 presentaba un diseño optimizado para las bermas en el perfil izquierdo de la obra de excedencias. Con este diseño se lograba que no existiese riesgo alguno de derrumbes en el talud izquierdo del canal de descarga y que el volumen excedente de material excavado en el vertedor, para el cual habría que encontrar lugares propicios donde depositarlo, no fuera excesivo.

Ya con este diseño definitivo para el P. H. La Yesca se desarrolló la planeación estratégica, en ella se analizaron los tiempos dados por la Comisión, se cuantificaron volúmenes de material, tanto de excavaciones como de colocación de materiales en ataguías y cortina, se calcularon balances de materiales y se realizaron programas tentativos de procedimientos de construcción, así como sus respectivos presupuestos.

Algunos de los primeros procedimientos obtenidos dejaron ver grandes volúmenes de material a almacenar y a desperdiciar, los cuales generarían un mayor costo; sobre todo estos primeros volúmenes por el hecho de tener que hacer el procedimiento de carga y descarga de materiales dos veces, es decir, una para retirarlo del sitio original y depositarlo en los banco de almacén y otro para llevarlo hasta la cortina, en vez de lo que sería lo óptimo, simplemente recogerlo de donde se excava y colocarlo en la obra de contención.

Al tener prácticamente un año de desfase entre la colocación de materiales en cortina y el inicio de las excavaciones en el vertedor, se tuvo que planear como aprovechar este tiempo para que los almacenes de enrocamiento no fueran tan altos y que cuando se requiriera material en la cortina el vertedor estuviera produciendo roca para la colocación directa de éste; es así que, con una buena planeación estratégica y un buen uso de los diferentes frentes de trabajo y sus rendimientos, se obtuvo un procedimiento constructivo optimizado de las obras de excedencias y de contención en el cual al disminuir tiempos, volúmenes y costos se lograron cumplir con los objetivos planteados al principio de esta tesis.

## Resultados

Después de haber realizado varios procedimientos de construcción para las obras de excedencias y de contención se logro encontrar un procedimiento optimizado donde el almacén de materiales se redujo al máximo gracias a una buena sincronización entre las excavaciones del vertedor y la colocación de materiales en la cortina. Esta buena sincronización se dio en gran parte por el desarrollo de una buena planeación estratégica y un buen conocimiento de los tiempos de ejecución proporcionados por la C. F. E., así como por el buen manejo del número de frentes de excavación y los rendimientos propuestos para la construcción de la obra de contención.

Cabe señalar que el almacén no puede reducirse a cero por el desfase que existe entre el arranque de los trabajos de excavación y el comienzo de la colocación de materiales en cortina, que es de aproximadamente un año. Pudo, como se explicó en esta tesis, sacar durante este primer año material que no podrá ser utilizado en la obra de contención, ayudando a que el material a almacenar disminuyera.

Por último, y habiendo realizado la factibilidad constructiva de cada una de las estructuras tratadas en este trabajo de tesis y con el fin de darle validez a los rendimientos contemplados en cada capítulo, se concluyó que el procedimiento constructivo y arreglo general propuestos en este documento presentan el mejor arreglo optimizado posible para que los volúmenes de material aprovechable provenientes de las distintas estructuras, pero sobre todo del vertedor, sea el mínimo y con esto que los costos relacionados con estos volúmenes también sean los más bajos posibles.

## **ANEXOS**

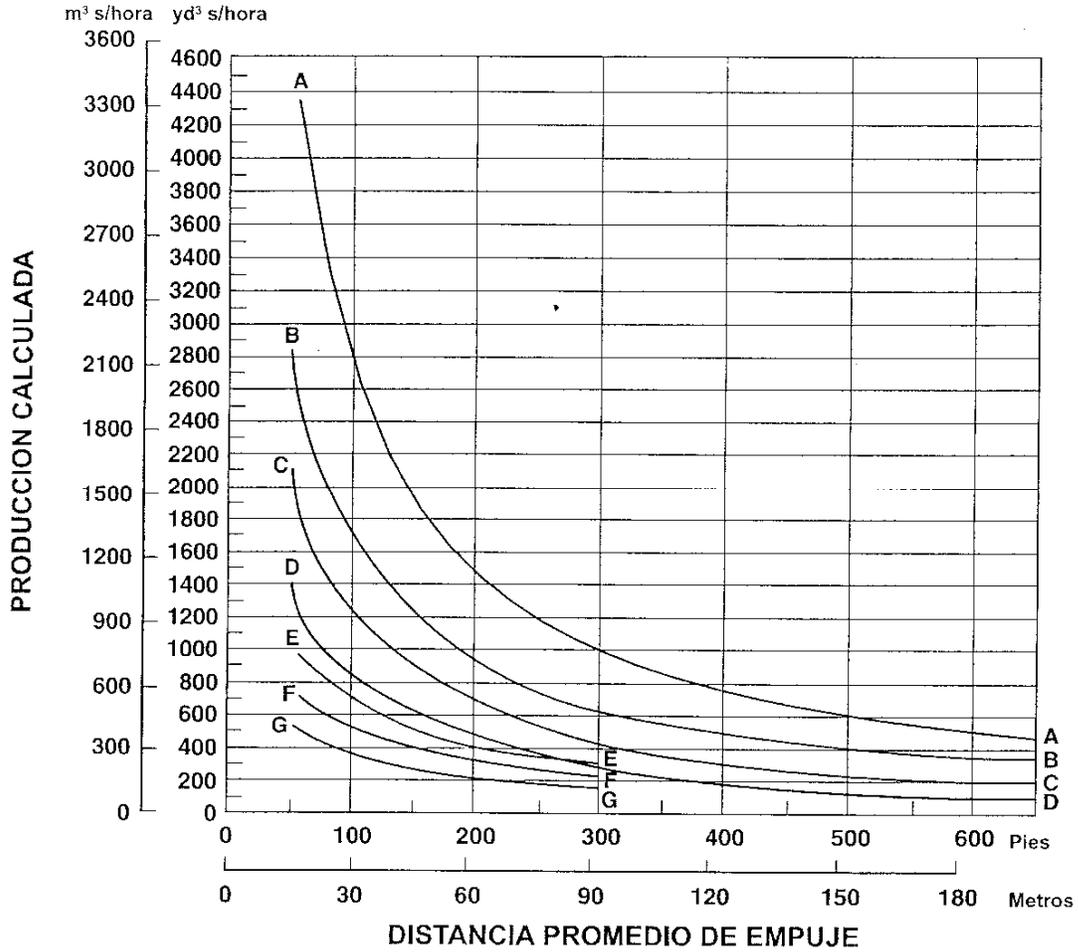
Tablas

| PESO* DE LOS MATERIALES       | SUELTO            |                    | EN BANCO          |                    | FACTORES DE CARGA |
|-------------------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
|                               | kg/m <sup>3</sup> | lb/yd <sup>3</sup> | kg/m <sup>3</sup> | lb/yd <sup>3</sup> |                   |
| Basalto                       | 1960              | 3300               | 2970              | 5000               | 0,67              |
| Bauxita, Caolín               | 1420              | 2400               | 1900              | 3200               | 0,75              |
| Caliche                       | 1250              | 2100               | 2260              | 3800               | 0,55              |
| Carnolita, mineral de uranio  | 1630              | 2750               | 2200              | 3700               | 0,74              |
| Ceniza                        | 560               | 950                | 860               | 1450               | 0,66              |
| Arcilla — en su lecho natural | 1660              | 2800               | 2020              | 3400               | 0,82              |
| seca                          | 1480              | 2500               | 1840              | 3100               | 0,81              |
| mojada                        | 1660              | 2800               | 2080              | 3500               | 0,80              |
| Arcilla y grava — secas       | 1420              | 2400               | 1660              | 2800               | 0,85              |
| mojadas                       | 1540              | 2600               | 1840              | 3100               | 0,85              |
| Carbón — antracita en bruto   | 1190              | 2000               | 1600              | 2700               | 0,74              |
| lavada                        | 1100              | 1850               |                   |                    | 0,74              |
| ceniza, carbón bituminoso     | 530-650           | 900-1100           | 590-890           | 1000-1500          | 0,93              |
| bituminoso en bruto           | 950               | 1600               | 1280              | 2150               | 0,74              |
| lavado                        | 830               | 1400               |                   |                    | 0,74              |
| Roca descompuesta —           |                   |                    |                   |                    |                   |
| 75% roca, 25% tierra          | 1960              | 3300               | 2790              | 4700               | 0,70              |
| 50% roca, 50% tierra          | 1720              | 2900               | 2280              | 3850               | 0,75              |
| 25% roca, 75% tierra          | 1570              | 2650               | 1960              | 3300               | 0,80              |
| Tierra — Apisonada y seca     | 1510              | 2550               | 1900              | 3200               | 0,80              |
| Excavada y mojada             | 1600              | 2700               | 2020              | 3400               | 0,79              |
| Marga                         | 1250              | 2100               | 1540              | 2600               | 0,81              |
| Granito fragmentado           | 1660              | 2800               | 2730              | 4600               | 0,61              |
| Grava — Como sale de cantera  | 1930              | 3250               | 2170              | 3650               | 0,89              |
| Seca                          | 1510              | 2550               | 1690              | 2850               | 0,89              |
| Seca, de 6 a 50 mm            | 1690              | 2850               | 1900              | 3200               | 0,89              |
| Mojada de 6 a 50 mm           | 2020              | 3400               | 2260              | 3800               | 0,89              |
| Yeso — Fragmentado            | 1810              | 3050               | 3170              | 5350               | 0,57              |
| Triturado                     | 1600              | 2700               | 2790              | 4700               | 0,57              |
| Hematita, mineral de hierro   | 1810-2450         | 4000-5400          | 2130-2900         | 4700-6400          | 0,85              |
| Piedra caliza — fragmentada   | 1540              | 2600               | 2610              | 4400               | 0,59              |
| triturada                     | 1540              | 2600               |                   |                    |                   |
| Magnetita, mineral de hierro  | 2790              | 4700               | 3260              | 5500               | 0,85              |
| Pirita, mineral de hierro     | 2580              | 4350               | 3030              | 5100               | 0,85              |
| Arena — Seca y suelta         | 1420              | 2400               | 1600              | 2700               | 0,89              |
| Húmeda                        | 1690              | 2850               | 1900              | 3200               | 0,89              |
| Mojada                        | 1840              | 3100               | 2080              | 3500               | 0,89              |
| Arena y Arcilla — suelta      | 1600              | 2700               | 2020              | 3400               | 0,79              |
| compactada                    | 2400              | 4050               |                   |                    |                   |
| Arena y grava — seca          | 1720              | 2900               | 1930              | 3250               | 0,89              |
| mojada                        | 2020              | 3400               | 2230              | 3750               | 0,91              |
| Arenisca                      | 1510              | 2550               | 2520              | 4250               | 0,60              |
| Pizarra bituminosa            | 1250              | 2100               | 1660              | 2800               | 0,75              |
| Escorias fragmentadas         | 1750              | 2950               | 2940              | 4950               | 0,60              |
| Nieve — seca                  | 130               | 220                |                   |                    |                   |
| mojada                        | 520               | 860                |                   |                    |                   |
| Piedra triturada              | 1600              | 2700               | 2670              | 4500               | 0,60              |
| Taconita                      | 1630-1900         | 3600-4200          | 2360-2700         | 5200-6100          | 0,58              |
| Tierra vegetal                | 950               | 1600               | 1370              | 2300               | 0,70              |
| Roca fragmentada              | 1750              | 2950               | 2610              | 4400               | 0,67              |
| Virutas de madera**           | —                 | —                  | —                 | —                  | —                 |

\*Varia según el contenido de humedad, el tamaño de grano, el grado de compactación, etc. Se deben hacer pruebas para determinar las características exactas de cada material.

\*\*En las últimas páginas de la sección de Explotación Forestal se dan los pesos de las maderas comercialmente importantes. Para calcular los pesos de las diversas maderas, utilice las ecuaciones siguientes:  $kg/m^3 = (lb/ft^3) \times 0,4$   
 $lb/ft^3 = (lb/ft^3) \times 0,4 \div 27$

PRODUCCION CALCULADA • Hojas Semiuniversales • D6M hasta D11R



CLAVE

- A — D11R-11SU
- B — D10R-10SU
- C — D9R-9SU
- D — D8R-8SU
- E — D7R-7SU
- F — D6R-6SU
- G — D6M-6SU

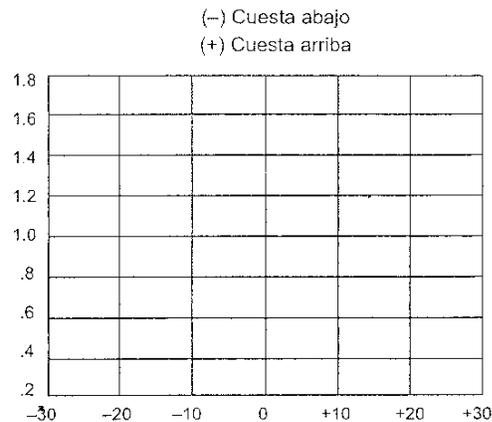
NOTA: Esta gráfica se basa en gran número de pruebas y estudios en condiciones y trabajos diversos. (Consulte los factores de corrección que hay después de estas gráficas.)

**FACTORES DE CORRECCION SEGUN LAS CONDICIONES DEL TRABAJO**

|  | TRACTOR<br>DF<br>CADENAS | TRACTOR<br>DF<br>RUEDAS |
|--|--------------------------|-------------------------|
| <b>OPERADOR: —</b>   |                          |                         |
| Excelente  | 1,00                     | 1,00                    |
| Bueno  | 0,75                     | 0,60                    |
| Deficiente   | 0,60                     | 0,50                    |
| <b>MATERIAL —</b>  |                          |                         |
| Suelto y amontonado  | 1,20                     | 1,20                    |
| Difícil de cortar; congelado; —  |                          |                         |
| con cilindro de inclin. lateral  | 0,80                     | 0,75                    |
| sin cilindro de inclin. lateral  | 0,70                     | —                       |
| hoja con control de cable  | 0,60                     | —                       |
| Difícil de empujar; se apelmaza<br>(seco, no cohesivo) o<br>material muy pegajoso.                                 | 0,80                     | 0,80                    |
| Rocas desgarradas o de voladura  | 0,60-0,80                | —                       |
| <b>EMPUJE POR METODO DE ZANJA<br/>CON DOS TRACTORES JUNTOS</b>   | 1,15-1,25                | 1,15-1,25               |
| <b>VISIBILIDAD:</b>  |                          |                         |
| Polvo, lluvia, nieve, niebla, obscuridad   | 0,80                     | 0,70                    |
| <b>EFICIENCIA DEL TRABAJO: —</b>   |                          |                         |
| 50 min/hr  | 0,83                     | 0,83                    |
| 40 min/hr  | 0,67                     | 0,67                    |
| <b>HOJAS*:</b>   |                          |                         |
| Ajuste según la capacidad<br>SAE de la hoja básica que se<br>usa en las gráficas de los<br>cálculos de producción. |                          |                         |
| <b>PENDIENTES:</b> Vea gráfica sig.  |                          |                         |

\*Nota: Las hojas orientables y las amortiguadas no se consideran herramientas de producción. Según las condiciones del trabajo, la hoja A y la C producen por término medio del 50 al 75% de una hoja recta.

**% de pendiente vs. factor de empuje**



**CALCULOS DE PRODUCCION DE LA HOJA, MEDIANTE FORMULAS**

*Problema de ejemplo:*

Halle la producción media por hora de un D8R/8SU (con cilindro de inclinación) que mueve, por el método de zanja, arcilla compacta una distancia media de 45 m (150 pies) cuesta abajo, con una pendiente del 15%.

Se calcula que la densidad del material suelto es de 1600 kg/m<sup>3</sup> suelto (2650 lb/yd<sup>3</sup> s). El operador es mediano. La eficiencia del trabajo se calcula en 50 min/h.

Producción máxima sin corregir: 458 m<sup>3</sup> suelto/hr (600 yd<sup>3</sup> s/hr) (ejemplo solamente).

Factores de corrección aplicables:

- Arcilla muy compacta, "difícil de cortar" . . . . .-0,80
- Corrección de la pendiente (de la gráfica) . . . . .-1,30
- Método de zanja . . . . .-1,20
- Operador mediano . . . . .-0,75
- Eficiencia del trabajo (50 min/h) . . . . .-0,83
- Corrección de la densidad . . . . .(2300/2650)-0,87

$$\begin{aligned} \text{Producción} &= \text{Produc. máxima} \times \text{Factores de corrección} \\ &= (600 \text{ yd}^3 \text{ s/hr}) (0,80) (1,30) (1,20) \\ &\quad (0,75) (0,83) (0,87) \\ &= 405,5 \text{ yd}^3 \text{ s/hr} \end{aligned}$$

Para obtener la producción en unidades del sistema métrico, se debe seguir el mismo procedimiento utilizando los valores correspondientes a producción no corregida en m<sup>3</sup> sueltos/hora.

$$\begin{aligned} &= 458 \text{ m}^3 \text{ sueltos/hora} \times \text{Factores} \\ &= 309,6 \text{ m}^3 \text{ sueltos/hr} \end{aligned}$$

## Cargadores de ruedas

### Selección de la máquina

- Carga de camiones
- Factores de llenado del cucharón

|   | <i>Minutos a sumar (+)<br/>o a restar (-) del<br/>ciclo básico</i> |
|---|--|
| <i>Máquina</i>  |  |
| — Manipulador de materiales.....  | -0,05  |
| <i>Materiales</i>   |  |
| — Mezclados.....  | +0,02  |
| — Hasta 3 mm (1/8 pulg).....  | +0,02  |
| — De 3 mm (1/8 pulg) a<br>20 mm (3/4 pulg).....                         | -0,02  |
| — De 20 mm (3/4 pulg) a<br>150 mm (6 pulg).....                         | 0,00   |
| — Más de 150 mm (6 pulg).....   | +0,03 y más  |
| — Banco o fracturado.....   | +0,04 y más  |
| <i>Pila</i>   |  |
| — Apilado por Transportador o Topadora<br>a más de 3 m (10 pies).....   | 0,02   |
| — Apilado por Transportador o Topadora<br>a menos de 3 m (10 pies)..... | +0,01  |
| — Descargado por camión.....  | +0,02  |
| <i>Varios</i>   |  |
| — Mismo propietario de camiones<br>y cargadores.....                    | Hasta - 0,04   |
| — Propietario independiente de<br>camiones.....                         | Hasta + 0,04   |
| — Operación constante.....  | Hasta - 0,04   |
| — Operación intermitente.....   | Hasta + 0,04   |
| — Punto de carga pequeño.....   | Hasta + 0,04   |
| — Punto de carga frágil.....  | Hasta + 0,05   |

Utilizando las condiciones reales del trabajo y los factores indicados, se puede estimar el tiempo de ciclo total. Convierta el tiempo de ciclo total a ciclos por hora.

$$\text{Ciclos por hora a } 100\% \text{ de eficiencia} = \frac{60 \text{ minutos}}{\text{Tiempo de ciclo total en minutos}}$$

La eficiencia en el trabajo es un factor importante al seleccionar la máquina. La eficiencia es el total de minutos que se trabaja en 1 hora. Esto toma en cuenta todas las interrupciones del trabajo como el período para fumar y las idas al servicio del operador, así como otras interrupciones.

|   |   |                                      |   |                                      |
|---|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| Ciclos por hora a 50 minutos por hora (83% de eficiencia) | = | Ciclos por hora a 100% de eficiencia | × | 50 minutos de tiempo real de trabajo |
|   |   |                                      |   | 60 min/hora                          |

### CARGA DE CAMIONES

#### Promedios de los ciclos del cargador

|                |               |
|----------------|---------------|
| 914G-962G..... | 0,45-0,50 min |
| 966G-980G..... | 0,50-0,55 min |
| 988F-990.....  | 0,55-0,60 min |
| 992G-994D..... | 0,60-0,70 min |

### 3. Carga útil requerida por ciclo

Para determinar la carga útil que se necesita por ciclo, divida la producción requerida en una hora por el número de ciclos por hora.

### 4. Elección del cucharón

Una vez calculada la carga útil requerida por ciclo, se divide por el peso de un m<sup>3</sup> (yd<sup>3</sup>) de material suelto, a fin de hallar el número de m<sup>3</sup> (yd<sup>3</sup>) de material suelto por ciclo.

Puesto que la densidad de casi todo el material que va a moverse no alcanza 1800 kg/m<sup>3</sup> (3000 lb/yd<sup>3</sup>), la exactitud en la estimación de producción requiere un conocimiento razonable de las densidades de los materiales con los que se va a trabajar. En la sección de tablas se puede obtener el promedio de las densidades de ciertas materias cuando no se conocen las densidades reales.

Se estima a continuación el porcentaje de la capacidad nominal que mueve el cucharón con diversas materias. El tamaño de cucharón necesario para mover el volumen requerido por ciclo se halla mediante el porcentaje de la capacidad nominal del cucharón, denominado "Factor de llenado del cucharón".

El tamaño requerido se halla dividiendo los m<sup>3</sup> Suelos (o yd<sup>3</sup>), requeridos por ciclo por el factor de llenado del cucharón.

$$\text{Tamaño del cucharón} = \frac{\text{Volumen requerido/ciclo}}{\text{Factor de llenado del cucharón}}$$

### FACTORES DE LLENADO DEL CUCHARON

La siguiente tabla indica las cantidades aproximadas de una materia como porcentaje de la capacidad nominal del cucharón, o sea lo que realmente moverá el cucharón por ciclo. Se denomina "factor de llenado del cucharón."

| Material suelto                               | Factor de llenado |
|---|-------------------|
| Agregados húmedos mezclados.....              | 95-100%           |
| Agregados uniformes hasta de 3 mm (1/8")..... | 95-100            |
| De 3 a 9 mm (1/8 a 3/8").....                 | 90-95             |
| De 12 a 20 mm (1/2 a 3/4").....               | 85-90             |
| De 24 mm (1") y más grandes.....              | 85-90             |

## Selección de la máquina

- Factores de llenado del cucharón
- Problema de ejemplo

## Cargadores de ruedas

### Roca de voladura

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| Bien fragmentada . . . . .         | 80-95% |
| De fragmentación mediana . . . . . | 75-90  |
| Mal fragmentada . . . . .          | 60-75  |

### Varios

|                                   |          |
|-----------------------------------|----------|
| Mezcla de tierra y roca . . . . . | 100-120% |
| Limo húmedo . . . . .             | 100-110  |
| Suelo, piedras, raíces . . . . .  | 80-100   |
| Materiales cementados . . . . .   | 85-95    |

**NOTA:** Los factores de llenado para cargadores de ruedas dependen de la penetración del cucharón, la fuerza de desprendimiento, el ángulo de inclinación hacia atrás, el perfil del cucharón y el tipo de herramientas de corte como dientes de cucharón o cuchillas reemplazables empernables.

### Ejemplo:

Material de 12 mm (1/2 pulg), y cucharón de 3 m<sup>3</sup> (4 yd<sup>3</sup>).  
 0,90 × 3 m<sup>3</sup> = 2,75 m<sup>3</sup> suelto por ciclo.  
 0,90 × 4 yd<sup>3</sup> = 3,6 yd<sup>3</sup> suelta por ciclo.

**NOTA:** Compruebe la carga límite de equilibrio estático en la máquina que va a emplearse, a fin de determinar si la carga del cucharón es en realidad una carga segura de operación.

### Elección del cucharón

$$\text{Toneladas requeridas/ciclo} = \frac{\text{Toneladas requeridas/hora}}{\text{Ciclos/Hora}}$$

$$\text{Kg requeridos/ciclo} = \frac{\text{Tons EUA requeridas/ciclo} \times 907 \text{ kg (2000 lb)}}{1}$$

$$\text{Volumen requerido/ciclo} = \frac{\text{kg/ciclo}}{\text{Densidad del material kg/m}^3 \text{ (lb/yd}^3\text{)}}$$

Elija siempre una máquina de mayor capacidad de operación que la requerida según sus cálculos. En la mayoría de las aplicaciones, una carga útil superior a la recomendada y demasiados contrapesos dificultan el funcionamiento de la máquina y reducen su estabilidad dinámica y su vida útil.

Para obtener un rendimiento óptimo en trabajos de ciclos rápidos, tales como la carga de camiones, las cargas de operación no deben exceder la capacidad recomendada. Para tener mayor estabilidad, podría usarse como lastre cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) cuando se opere a los niveles recomendados. Vea los datos sobre clasificación SAE de cargadores y la información sobre rendimiento en esta sección para obtener los datos sobre la estabilidad, los tamaños de neumáticos y los contrapesos disponibles.

Cuando elija cucharones de utilización especial, tales como los de uso múltiple y para descarga lateral, el peso adicional del cucharón debe restarse de la capacidad recomendada.

En ciertos casos hay otras condiciones que podrían influir también en la capacidad del cargador. Como hay gran diversidad de trabajos y condiciones, le convendría solicitar la asistencia de su distribuidor local Caterpillar.

### Problema de ejemplo:

#### CONDICIONES DEL TRABAJO

|                      |  |
|----------------------|--|
| Tipo de operación    | Carga de camiones  |
| Producción requerida | 450 toneladas métricas (496 ton) por hora                  |
| Material             | Grava de 9 mm (3/8 pulg) en pilas de 6 m (20 pies) de alto |
| Densidad             | 1660 kg/m <sup>3</sup> (2800 lb/yd <sup>3</sup> )          |

La capacidad de los camiones es de 6 a 9 m<sup>3</sup> (8 a 12 yd<sup>3</sup>) y pertenecen a tres contratistas; el trabajo de carga es constante y el suelo, duro y horizontal, facilita las maniobras.

1. **PRODUCCION REQUERIDA:** Dada

2. **TIEMPOS DE CICLO:** Se supone un tamaño de cargador entre el 914G y el 962G para la selección inicial de ciclo básico.

(Referirse a los factores de tiempo de ciclo en esta sección)

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| Ciclo básico            | 0,50 min  |
| Material                | -0,02 min |
| Camiones independientes | +0,04 min |
| Trabajo constante       | -0,02 min |
| Ciclo total             | 0,50 min  |

**NOTA:** No se necesitan los tiempos de carga y acarreo en el ciclo total.

$$\begin{aligned} \text{Ciclos/hora a 83\% de eficiencia} &= 120 \text{ ciclos/hora} \times \frac{50 \text{ min trabajo real}}{60 \text{ min/hora}} \\ &= 100 \text{ ciclos/hora} \end{aligned}$$

3. **VOLUMEN REQUERIDO POR CICLO**

(Densidad en toneladas)

La densidad en este ejemplo es conocida. Cuando no se conoce, consulte la sección de Tablas para obtener una densidad estimada del material con que se trabaja.

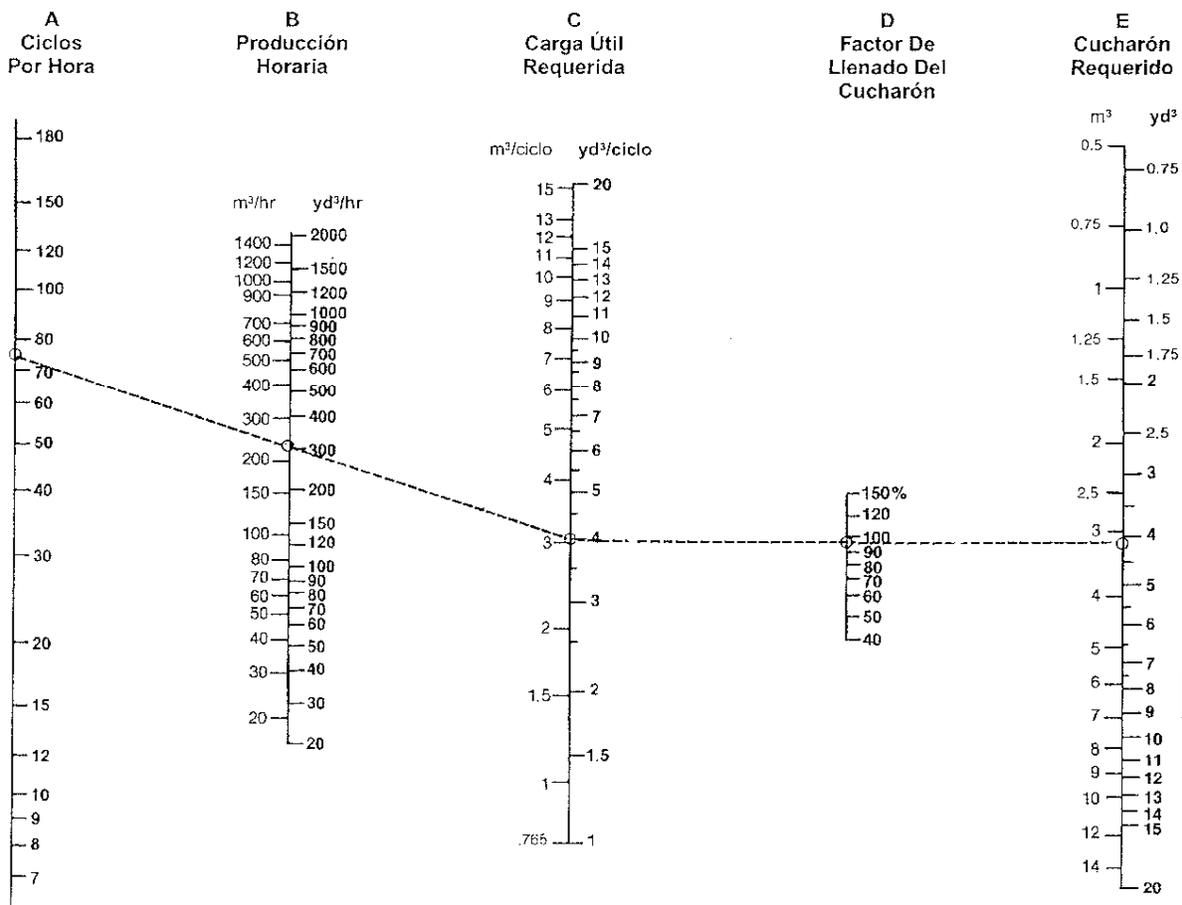
$$\text{Sistema métrico: } \frac{1660 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/ton}} = 1,66 \text{ ton/m}^3$$

$$\text{Sistema inglés: } \frac{2800 \text{ lb/yd}^3}{2000 \text{ lb/ton}} = 1,4 \text{ tons/yd}^3$$

Nomograma de producción y selección de máquinas  
 ● Para hallar el peso de la carga útil y toneladas por hora

Cargadores de ruedas

1. Marque en la escala B el punto correspondiente a la producción horaria requerida de 230 m<sup>3</sup>/hora (300 yd<sup>3</sup>/h).
2. Marque en la escala A el número de ciclos por hora requeridos (60 ÷ 0,6 = 100 × 0,75 = 75 ciclos/hora).
3. Desde A, trace una línea que pase por B y llegue a C. Verá que la carga útil requerida es 3 m<sup>3</sup>/ciclo (4 yd<sup>3</sup>/ciclo).
4. Marque en la escala D el factor de llenado del cucharón (0,95).
5. Desde C trace una línea que cruce la escala D y llegue a E. Verá que 3 m<sup>3</sup> (4 yd<sup>3</sup>) es la capacidad requerida del cucharón.
6. Transfiera a la gráfica en la página siguiente los ciclos por hora de la escala A y la carga útil de la escala C.



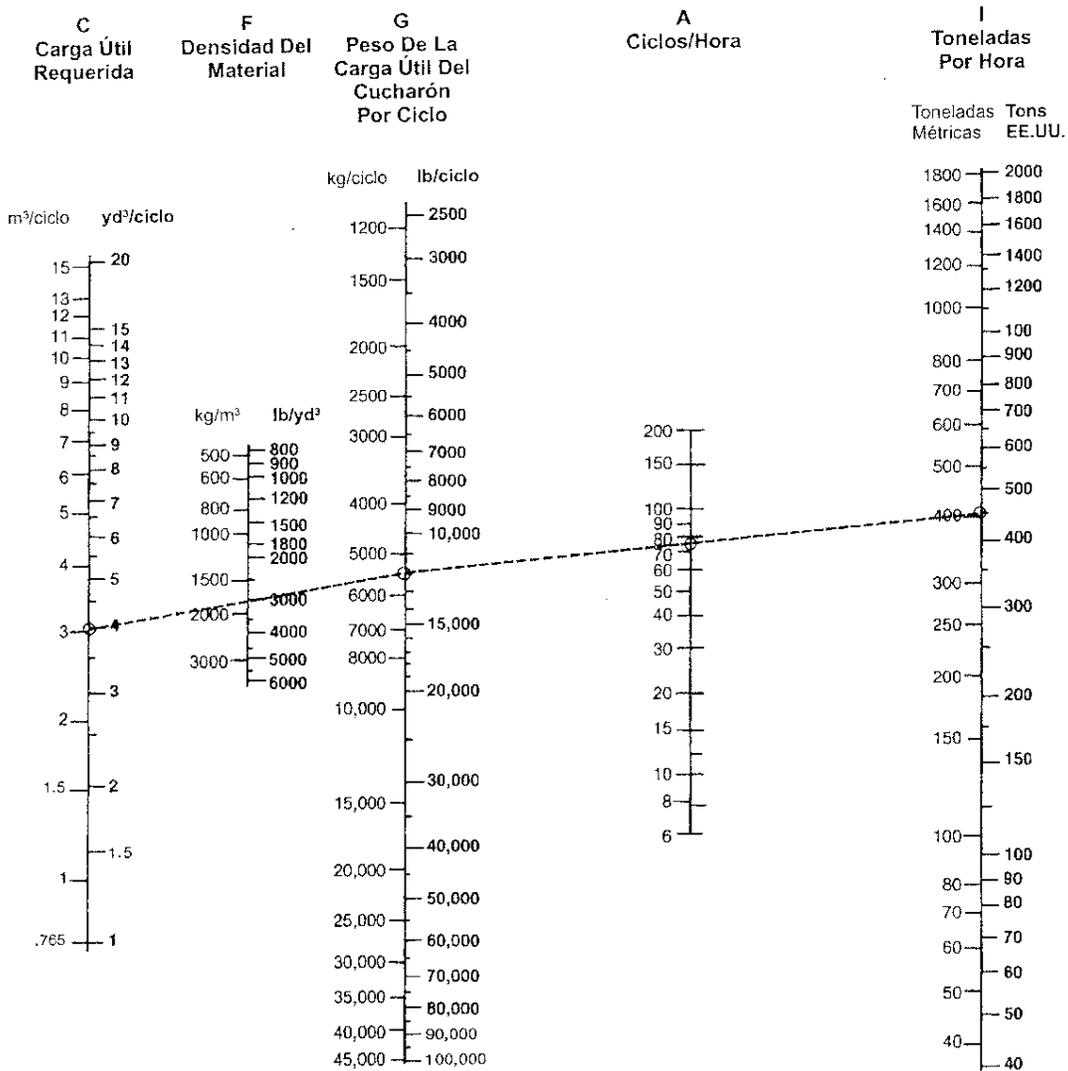
## Cargadores de ruedas

### Nomograma de producción y selección de máquinas

- Para hallar la carga útil requerida y el tamaño del cucharón

7. Marque la densidad del material (1780 kg/m<sup>3</sup>) (3000 lb/yd<sup>3</sup>) en la escala F.
8. Desde la escala C trace una línea que pase por F y llegue a G para hallar la carga útil por ciclo (5300 kg) (11.500 lb).
9. Compare la cantidad de 5300 kg (11.500 lb) en la escala G, con la carga de operación recomendada para esa máquina que aparece en las páginas que siguen sobre selección del cucharón.

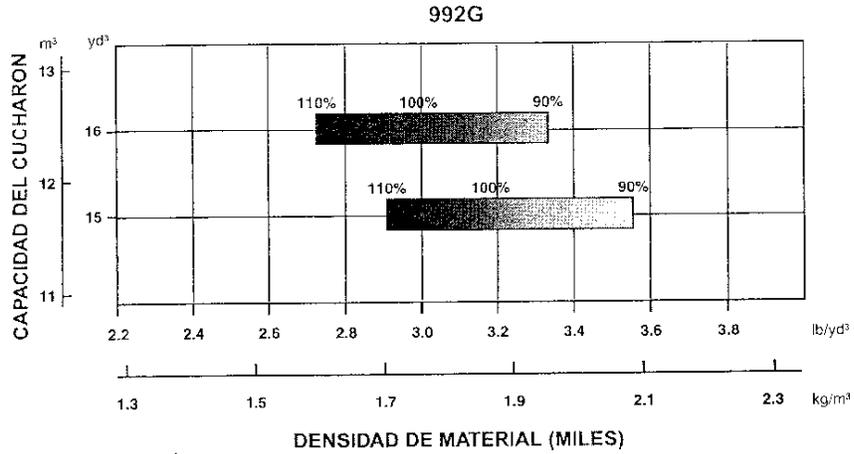
- La capacidad de operación del 950G provisto de cucharón de 3,1 m<sup>3</sup> (1 yd<sup>3</sup>) depende de la densidad del material y de la capacidad del cucharón (vea las páginas de selección de cucharones que siguen).
10. Para hallar el tonelaje por hora, trace desde la escala G una línea recta que cruce la escala A, y se prolongue hasta la escala I, para obtener el punto correspondiente a 400 toneladas métricas (450 ton. EE.UU.).



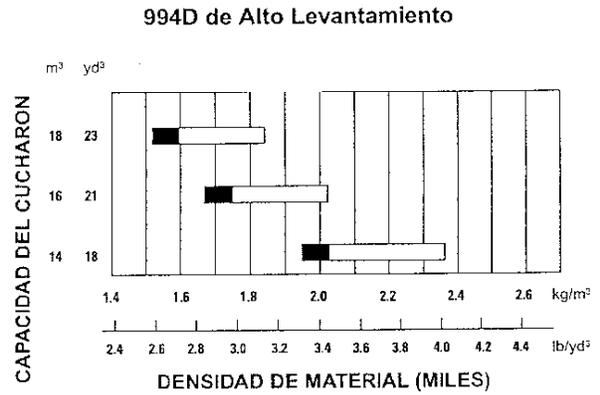
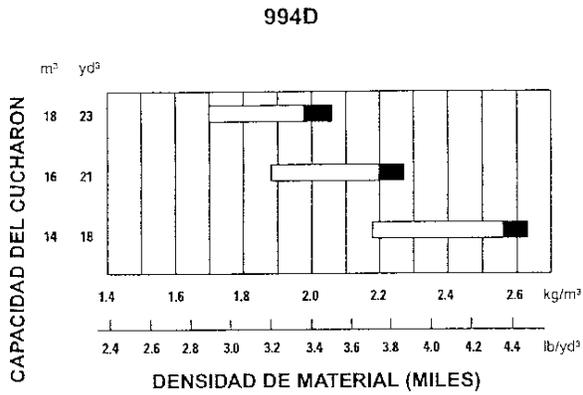
Cargadores de ruedas

Selección de Cucharones

- 992G ● 994D ● 994D HL



NOTA: Los porcentajes representan factores de llenado del cucharón.



% = Factor de llenado del cucharón

|  |  |                       |
|--|--|-----------------------|
|  |  | Estándar              |
|  |  | de Alto Levantamiento |

## BIBLIOGRAFÍA

“Técnica Sueca de Voladuras”

Rune Gustafsson

SPI, Nora, Suecia

Enero, 1977

“Información General” P. H. La Yesca

Comisión Federal de Electricidad

Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil

Agosto del 2006

“Estudios de la Constructibilidad” P. H. El Cajón

Ing. Enrique Heredia

Ingeniería, Asesoría y Consultoría, S.A. de C.V.

2006

“Manual de Rendimiento Caterpillar”

Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, EE.UU., 2000

31ª edición.