

# Análisis de opciones para la excavación de la Casa de Máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís



# Abstract

The massive excavation always represents a big challenge for the professional in charge of it, a lot of details have to be considered in order of being capable or defining the most convenient constructive process. This is where experience is essential, as well as a good reference.

For the excavation of the Power House of the Hydroelectric Pirrís Project there are three options previously designed, one alternative is with a volume of 440.889 m<sup>3</sup> based on berms and slopes stabilized with shotcrete and anchors, a second option is also with slopes and berms, but that will also include a pier wall in the perimeter of the building, and the third option consists in the excavation by a deep shaft.

For each one of the options there is a description of the constructive process, the working program, resource assignation and the budget including personnel, materials, equipment and machinery necessary for its execution. This way, the result is to have for each one a cost and duration that will permit them to be compared, in order to conclude that the third option is the most viable one, with a cost of \$1.754.501 and a duration of 249 days, an excavation volume of 320.245 m<sup>3</sup> and an availability of resources and a high confidence in the system.

Palabras claves: Excavación, Casa de Máquinas, P. H. Pirrís.

# Resumen

La excavación masiva representa siempre un gran reto para el profesional a cargo de la misma, muchos detalles deben ser tomados en cuenta para poder definir el proceso constructivo más conveniente. Es en ese punto donde la experiencia es fundamental, así como una buena referencia.

Para la excavación de la Casa de Máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís se cuenta con tres opciones previamente diseñadas; una alternativa con un volumen de 440.889 m<sup>3</sup> a base de bermas y taludes estabilizados con concreto lanzado y pernos de anclaje, una segunda opción igualmente con taludes y bermas, pero que además incluye una pantalla de pilotes en el perímetro de lo que será el edificio, y la tercera opción que consiste en la excavación mediante un pozo profundo.

Para cada una de ellas se presenta una descripción del proceso constructivo, la programación, asignación de recursos y presupuesto incluyendo personal, materiales, equipo y maquinaria necesarios para su ejecución. De esta forma se obtiene para cada una, un costo y duración que permiten compararlos entre sí para poder concluir que la tercera opción es la más viable, con un costo de \$1.754.501 y una duración de 249 días, un volumen de excavación de 320.245 m<sup>3</sup> y el tener una buena disponibilidad de recursos y la alta confiabilidad del sistema.

# **Análisis de opciones para la excavación de la Casa de Máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís**

# **Análisis de opciones para la excavación de la Casa de Máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís**

ING. RANDALL E. BONILLA ALFARO  
ING. ELKE Z. CASTILLO NOGUERA  
ING. KRYSSIA CORRALES CASTRO

Agosto del 2002

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

Prefacio.....	7	Apéndice 5: Memoria de cálculo: Excavación con bermas y taludes hasta elevación 300,8	63
Resumen ejecutivo .....	8	Apéndice 5: Memoria de cálculo: Excavación con pantalla de pilotes hasta la elevación 300,8	67
Introducción .....	12	Apéndice 6: Memoria de cálculo: Pilotes preexcavados .....	71
Aspectos generales .....	13	Apéndice 7: Memoria de cálculo: Excavación con pozo profundo hasta la elevación 300,8	73
Antecedentes.....	16	Apéndice 8: Memoria de cálculo: Excavación pozo profundo.....	77
Opción 1 : Excavación con bermas y taludes	17	Apéndice 9: Programa de trabajo: Excavación con bermas y taludes.....	90
Opción 2 : Excavación con pantalla de pilotes	17	Apéndice 10: Programa de trabajo: Excavación con pantalla de pilotes .....	91
Opción 3 : Excavación con pozo profundo ....	18	Apéndice 11: Programa de trabajo: Excavación con pozo profundo .....	92
Metodología.....	19	Apéndice 12: Presupuesto y recursos: Excavación con bermas y taludes .....	93
Resultados.....	20	Apéndice 13: Presupuesto y recursos: Excavación con pantalla de pilotes .....	94
Memorias de cálculo .....	20	Apéndice 14: Presupuesto y recursos: Excavación con pozo profundo.....	95
Programa de trabajo .....	21	Apéndice 15: Maquinaria y equipo .....	96
Presupuesto y recursos .....	22	Maquinaria para excavación .....	96
Excavación con bermas y taludes: descripción del proceso constructivo .....	23	Maquinaria y equipo para concreto lanzado .....	101
Excavación con pantalla de pilotes: descripción del proceso constructivo .....	27	Equipo para pernos de anclaje.....	102
Excavación con pozo profundo: descripción del proceso constructivo .....	32	Anexos .....	103
Análisis de resultados.....	35	Anexo 1: Fotografías .....	104
Conclusiones .....	36	Referencias .....	109
Apéndices .....	37		
Apéndice 1: Memoria de cálculo: Camino de acceso .....	38		
Apéndice 2: Memoria de cálculo: Concreto lanzado.....	42		
Apéndice 3: Memoria de cálculo: Excavación hasta la elevación 325 .....	53		
Apéndice 4: Memoria de cálculo: Excavación hasta elevación 315 .....	59		

# Tabla de figuras

<b>Figura 1.</b> Detalle de pilotes anclados.....	18
<b>Figura 2.</b> Perfil longitudinal de la excavación .....	24
<b>Figura 3.</b> Colocación de concreto lanzado... ..	25
<b>Figura 4.</b> Detalle del sistema de anclaje .....	27
<b>Figura 5.</b> Procedimiento de corte hacia adelante .....	27
<b>Figura 6.</b> Procedimiento de corte hacia atrás... ..	28
<b>Figura 7.</b> Detalle de la sección del pilote .....	29
<b>Figura 8.</b> Procedimiento de corte y carga a profundidad.....	29
<b>Figura 10.</b> Procedimiento de corte y carga a profundidad.....	34

# Prefacio

Una buena parte de los retos que enfrentan los profesionales en ingeniería en construcción se desarrollan en los proyectos de movimientos de tierra y excavaciones. De aquí la necesidad de que los futuros y actuales profesionales puedan contar con un documento de referencia en el que se describa con bastante detalle el proceso constructivo y los recursos necesarios para llevar a cabo un proyecto de excavación masiva.

Este documento incluye la información general básica necesaria para que pueda ser tomada como referencia y consulta para el desarrollo del planeamiento constructivo y estimación presupuestaria preliminar de proyectos que se deban desarrollar en condiciones similares a las descritas en el mismo.

Para el grupo de estudiantes de ingeniería en construcción puede resultar un apoyo en la elaboración de proyectos que impliquen obras de excavación, aunque sean de menor dimensión. Con este se pueden dar una idea de los recursos necesarios para cada uno de los procesos que involucra la obra.

El objetivo principal de la presente obra es llegar a una recomendación final para la ejecución del proceso de excavación necesario para desarrollar la casa de máquinas en el Proyecto Hidroeléctrico Pirrís, partiendo del hecho de que se han planteado tres opciones, técnicamente acertadas, para la estabilización de los taludes.

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias al apoyo de la jefatura del sistema constructivo del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís a cargo del Ing. Alexander Solís Barboza, quien colaboró y facilitó el proceso de recopilación de información de diseño, memorias de cálculo e informes finales de obras anteriores. Además de su asesoría durante todo el desarrollo y revisión del documento. Así como al personal de diferentes áreas en la ejecución de Proyectos Hidroeléctricos por la asistencia brindada.

# Resumen ejecutivo

Como parte del desarrollo de la electrificación en el país el I.C.E. pretende la construcción de la Planta Hidroeléctrica Pirrís, la cual aportará 128 MW a la red nacional. Para ello se realizó un gran esfuerzo humano que conllevó a los estudios generales de la planificación y presupuestos de diferentes alternativas de excavación y movimientos de tierra a cielo abierto. Para la casa de máquinas se plantearon tres que incluyen:

- Excavación con bermas y taludes.
- Excavación con pantalla de pilotes, y
- Excavación con pozo profundo.

La información que se generó con el estudio detallado de las alternativas propuestas, evalúa la posibilidad de establecer cuál es el proceso constructivo a seguir para la excavación de estructuras en condiciones de cimentación similares, por parte de empresas constructoras de proyectos hidroeléctricos, tanto públicas como privadas. Si se cuenta con los detalles de los aspectos más importantes para la planificación de una construcción como lo son el plazo de ejecución, disponibilidad de recursos y presupuestos.

Para las tres alternativas se propuso iniciar el proceso con las labores de desmonte y limpieza, así como la corrección del curso de las aguas superficiales que pudieran

dificultar las labores de excavación o conformación de caminos, en conjunto con las labores de topografía.

En el caso de la primera opción planteada, a partir de este momento se consideró iniciar la excavación necesaria para la conformación del camino de acceso que se amplía según el avance de la excavación hasta llegar al nivel 300,8 msnm, para tener una vía adecuada para acarrear el material e iniciar la excavación hasta la elevación 325 msnm, realizando, según su avance, la estabilización de los taludes, de manera que las excavadoras lleven un corte inicial hasta 3 m de altura en todo el perímetro de la excavación, para dar inicio a los trabajos de concreto lanzado con malla electrosoldada y empernado. Al mismo tiempo que se avanza en la excavación de área central y se inicia el corte de los siguientes 3m, hasta completar los 10 m de altura del talud inicial.

En este punto se construye la primera berma perimetral de 5 m de ancho, y se continúa con el siguiente talud de 10 m de alto, realizando el mismo procedimiento anteriormente descrito, para finalizar con un último talud de 15 m de altura.

Para la segunda opción se propuso el mismo proceso inicial hasta alcanzar la elevación 315 msnm, o sea los dos taludes de 10 m de altura, en esta elevación se conforma una terraza a utilizar para instalaciones provisionales dejando el área de excavación requerida para llegar hasta el nivel de fundación, un rectángulo de 30,9 m por 23,7 m con un corte final de 15 m de altura para el cual se planteó construir una pantalla perimetral de pilotes preexcavados de 30 cm de diámetro separados 60 cm entre líneas de centro de cada uno. A partir de la cual se inicia el proceso de excavación final hasta el nivel de fundación en la 300,8 msnm. Una vez concluido el proceso se debe ubicar una grúa en el elevación 315 msnm, para sacar la máquina de la excavación.

Como última alternativa se propuso el mismo procedimiento hasta la elevación 325 msnm, en este nivel se realiza la terraza que se aprovecha para instalaciones provisionales y se marca el corte final de 25 m de altura que se planteó realizar mediante un pozo circular de 29 m de diámetro. Para lo que se supuso que el túnel de restitución estará concluido, pues se planteó que la extracción del material producto de la excavación del pozo principal se realice por esta vía.

Para el pozo piloto se pensó en un diámetro de 5 m, que se inicia desde la elevación 325 msnm y se va cortando hacia abajo hasta alcanzar el piso de la restitución en la elevación 298,25 msnm. En este

proceso la extracción del material de excavación se realizará por arriba.

La ampliación a la sección definitiva de 29 m de diámetro se propuso realizarla con una excavadora que inicia en la elevación 325 msnm y descarga el material producto de la excavación por el pozo piloto para que sea acarreado a través del túnel de restitución.

## **Estabilización de taludes**

El proceso de estabilización con concreto lanzado se puede aplicar tanto vía seca como vía húmeda siempre que se pueda contar con las condiciones necesarias para su aplicación. Para ambas se puede utilizar una máquina tipo Aliva 285.

Deben considerarse factores como la presión del agua y aire, distancia entre la boquilla y la superficie y en general controlar la técnica con que se aplica.

En el caso de la aplicación vía seca, se debe tener la previsión de mantener los agregados en un lugar adecuado que garantice que estarán libres de humedad.

En la vía húmeda la mezcla de concreto se prepara de la manera convencional y se envía hasta el sitio donde se agrega el aditivo y se impulsa mediante aire comprimido.

Además del concreto lanzado, el sistema de estabilización de taludes incluyó pernos pasivos. Primero se realizan perforaciones con un diámetro y longitud según se indique en planos. Estas deben mantenerse limpias y llenas de agua hasta el momento de insertar el perno, en caso de ser necesario se recomendó usar ademe. Otro aspecto importante, es el uso de separadores de PVC que garanticen la posición centrada del perno para que se cubra

totalmente con la lechada que se inyecta con bomba.

### Resultados obtenidos

Se desarrollaron los planteamientos para los procesos constructivos de cada caso, se obtuvieron plazos de ejecución, recursos y presupuestos para realizar la comparación entre las opciones. Los parámetros se resumen en el siguiente cuadro:

<b>CUADRO 1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>OPCIÓN 1</b>	<b>OPCIÓN 2</b>	<b>OPCIÓN 3</b>
Duración ( días )	448	509	249
Costo estimado ( \$ )	2.164.393	2.590.432	1.754.501
Volumen de excavación ( m <sup>3</sup> )	440.889	342.938	320.245
Volumen de concreto lanzado ( m <sup>3</sup> )	1.994	1.750	377
Pernos de anclaje ( m )	18.675	24.765	6.576
Disponibilidad de recursos	SI	Regular	SI
Disponibilidad de personal especializado	Muy Buena	Buena	Muy Buena
Nivel de riesgo ocupacional	Medio	Medio	Medio
Mantenimiento del sistema durante la operación de la planta	Alto	Regular	Regular

De lo anterior se concluyó que desde el punto de vista del plazo de ejecución de la obra y costos se consideró que la excavación mediante pozo profundo, aprovechando la restitución concluida, es la más adecuada para el Proyecto, ya que los recursos especializados son menores a los de las otras alternativas y proporciona un grado de confiabilidad en el sistema de estabilización bastante alto. Además, el proceso de excavación hace que el volumen de material a extraer sea menor a los otros con la ventaja de que se requieren áreas menores para manejo de botaderos y así se minimiza la alteración del entorno.

# Introducción

Partiendo de los diseños de excavación propuestos por el Área de Diseño del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís se estableció el método y procedimiento para la ejecución de cada una de las diferentes alternativas.

Utilizando información y rendimientos establecidos en proyectos de generación eléctrica anteriores, se determinaron los tiempos de ejecución para cada una de las actividades que se establecieron como necesarias en el programa de trabajo, así como los recursos indispensables para cada una de las mismas.

Posteriormente se procedió a asignar el costo a cada uno de estos recursos para lo cual se contó con las bases de datos del Proyecto. Esto con el objetivo de disponer de un dato estimado lo más próximo al costo real.

Finalmente, una vez establecidos los procedimientos, programas de trabajo y costos de las opciones planteadas, y como objetivo principal del desarrollo de este trabajo, se recomendó una de las opciones para la ejecución de la obra, según la conveniencia por su período de ejecución, seguridad y costo que representará para el P. H. Pirrís.

# Aspectos generales

Uno de los detalles más importantes en el diseño de un proyecto hidroeléctrico es “la caída” o diferencia de elevación entre la toma de aguas (ubicada en o cerca de la presa) y la casa de máquinas, debido a que ésta es un factor determinante para la capacidad de generación. Es por esta razón que el nivel donde se debe levantar la casa de máquinas es de suma importancia y esto conlleva enfrentar una serie de complicaciones en el proceso constructivo. Por ser la casa de máquinas una estructura de gran tamaño y estar sometida a las vibraciones de las unidades generadoras, lograr un buen nivel de cimentaciones es primordial y algunas veces bastante complicado.

En el caso de la casa de máquinas del Proyecto Hidroeléctrico Pirrís la elevación del nivel de fundación difiere del nivel del terreno natural entre 32 y 40 m, es decir se debe realizar una excavación con un volumen bastante considerable.

Es de esperar que una excavación de este tipo acarree una serie de problemas, iniciando por la ubicación del nivel freático, lo que obliga a realizar trabajos adicionales para garantizar una excavación bien drenada y que permita el abatimiento de este nivel por debajo de la elevación definida para la fundación.

Otro aspecto a considerar es la topografía de la zona que implica un volumen considerable de aguas de escorrentía que estarán presentes

durante y después de la excavación por tanto se debe cuidar que no incidan negativamente en la productividad de la misma.

La resistencia al corte del suelo es muy importante ya que esto determinará la pendiente de los cortes que se pueden realizar y sobre todo el tratamiento o procedimiento que se aplicará a los mismos para evitar deslizamientos.

Una vez revisada la resistencia al corte del suelo se puede definir con que opciones trabajar.

Cuando se realiza una excavación a cielo abierto, el método más común es mediante la conformación de taludes. Se comprende bajo el nombre genérico de taludes cualesquiera superficies inclinadas respecto a la horizontal que hayan de adoptar permanentemente las estructuras de tierra, bien sea en forma natural o como consecuencia de la intervención humana en una obra de ingeniería. En la mayoría de los casos es la opción más viable económicamente hablando, sin embargo algunas veces no son tan prácticas ya sea por las condiciones del suelo o por la magnitud de la obra.

Es común utilizar las técnicas de conformación de taludes en conjunto con otros procedimientos que ayuden a incrementar la estabilidad del mismo, de forma tal que se suelen utilizar diversos tipos de drenes para mantener los taludes libres de agua (por ejemplo: cunetas, contracunetas, alcantarillas, etc.)

Por otra parte se recurre al empleo de técnicas que ayuden propiamente al sostenimiento del talud. Entre los más usados se encuentra la construcción de bermas, en general una berma produce un incremento en la estabilidad ya que influyendo en la zona de falla produce una disminución del momento motor mientras que aumenta el momento resistente del talud. Otro efecto importante de las bermas estriba en la redistribución de esfuerzos cortantes que producen en el terreno.

Adicionalmente se puede recurrir al empleo de materiales estabilizantes, cuya finalidad es también mejorar las cualidades de resistencia de los suelos tratando de producir un efecto de cementación entre sus partículas.

Igualmente se suele recurrir a las técnicas de protección de taludes donde actualmente se cuenta con una gran variedad de procesos entre los cuales se encuentran la colocación de concreto lanzado, que es muy utilizado y muy práctico, puesto que además de impermeabilizar el talud contribuye en su estabilidad e impide su deterioro, y por otra parte la colocación de materiales sintéticos o geotextiles que contribuyen en el control de erosión y, según su tipo, también en el de filtraciones. Obviamente la relación beneficio-costó es un factor determinante en la elección de estos procedimientos.

Para impermeabilización se puede recurrir también a la colocación de una capa o recubrimiento de alguna arcilla u otro material impermeabilizante y de igual forma se cuenta con una amplia gama de procedimientos.

Otro proceso de gran utilización en la estabilización de taludes es la colocación de pernos de anclaje. El anclado es un proceso constructivo mediante el cual un elemento resistente a la tracción es fijado en el terreno. Generalmente se introduce dentro de un hueco perforado y se fija en el extremo interno o a lo largo de cierta longitud del mismo. Después del fijado, el anclaje puede ser tensado en el extremo externo por medio de una cabeza. Esta cabeza es apoyada contra una placa u otro elemento estructural para que distribuya los esfuerzos en la superficie del terreno a reforzar.

El anclaje requiere de un empotramiento o longitud de desarrollo mínimo que debe establecerse previamente. Puede ser que se sujete en la raíz, en el tendón o en ambos.

Resulta importante que la consideración de empotramiento sea definida en cada caso; y en conjunto con las otras partes del elemento proporcione la fuerza necesaria en magnitud y dirección para mejorar la estructura, el confinamiento del medio y asegure la estabilidad y durabilidad requerida.

Dada la gran variedad de tipos de anclajes existentes se presentan las siguientes clasificaciones:

- Por la forma de transmitir la carga al terreno.
- Por la aplicación de la tensión.
- Por la vida útil del anclaje.
- Por el tipo de material en que se coloca

Cuanto más profunda sea la excavación y más débil el suelo, menor inclinación deben tener los taludes de la excavación. En las excavaciones de gran profundidad y con taludes, el volumen de material a extraer es mucho mayor del que realmente requiere la estructura. Por consiguiente, la excavación abierta se limita, generalmente, a los casos de suelos firmes, grandes áreas o pequeñas profundidades.

Cuando la excavación abierta es antieconómica, muy difícil de realizar, o no se dispone de suficiente espacio para darle a los taludes la inclinación necesaria para su adecuada estabilidad, es necesario utilizar ademes para soportar el suelo. En excavaciones tan profundas se requiere de una entibación completa que se puede realizar utilizando tablestacas verticales, tableros horizontales, muros construidos *in situ* o bien una mezcla de estos según sea la condición.

# Antecedentes

El Proyecto Hidroeléctrico Pirrís tiene como finalidad la construcción de una planta hidroeléctrica con una potencia instalada de 128 megavatios ( MW ). Se localiza en la cuenca del río del mismo nombre, en las cercanías de San Marcos de Tarrazú y San Pablo de León Cortés, a 70 km al sur de la ciudad de San José.

El funcionamiento del Proyecto consistirá en retener las aguas del Río Pirrís mediante una presa de gravedad de 113 m de altura y 270 m de longitud, el agua se desviará por la toma de aguas hacia un túnel de 11350 m de longitud. Las aguas continuarán por medio de una tubería de presión de 808 m de longitud e impulsarán dos turbinas tipo Pelton de eje vertical de 64 MW cada una.

El sitio propuesto para la construcción de la Casa de Máquinas se encuentra ubicado en la comunidad de El Carmen, Aserrí. La propiedad se encuentra en la margen izquierda del río Pirrís.

Según los informes elaborados por las áreas de geología y geotecnia, el sitio propuesto se encuentra en un terreno compuesto por depósitos aluviales del río Pirrís, que fueron probablemente antiguos canales trazados por el río, se encuentran a su vez depósitos de tipo coluvial, provenientes de las formaciones montañosas adyacentes al valle del río, causados por la meteorización y erosión de las estructuras geológicas adyacentes.

Para efectos de excavación de la Casa de Máquinas, la misma se hará en condiciones drenadas debido a la alta permeabilidad de los depósitos coluviales aluviales. De esta manera el nivel freático se localiza por debajo del nivel de fundación.

La elevación del terreno en el sitio donde estará ubicada la Casa de Máquinas varía desde la elevación 340 msnm hasta 332 msnm, y se deberá excavar hasta alcanzar la elevación 300.80 msnm que se ha definido como el nivel de fundación.

La construcción de la Casa de Máquinas requiere un volumen muy importante de excavaciones, que implican una serie de dificultades constructivas relacionadas al tipo de material descrito geológicamente. Por esta razón se han planteado varias alternativas que permiten realizar estas excavaciones de manera eficiente y segura desde el punto de vista técnico por lo que se desarrollará el planeamiento constructivo y presupuesto de cada una de las propuestas, para hacer una comparación y dar una recomendación para la ejecución de la obra, tomando en cuenta factores como costo, duración y recursos entre otros aspectos.

Una de las primeras opciones que se analizaron fue el uso de muros preexcavados y el uso de lodos bentoníticos, pero esta opción no resultó viable por la posible presencia de bloques de tamaño considerable.

Esta misma característica del suelo hace que se tengan que descartar opciones que requieran sistemas de tablestacas o vigas de acero hincadas. Por estas razones es que se han planteado las siguientes alternativas para la ejecución de esta obra.

## **Opción 1 : Excavación con bermas y taludes**

La primera opción que se analizará involucra sistemas de bermas y taludes hasta los niveles de excavación requeridos, lo cual se podrá realizar mediante sistemas de soporte convencionales para los taludes, como concreto lanzado y pernos de anclaje.

En esta, se tiene que partiendo desde el terreno natural se deberán cortar taludes con una inclinación de 1 H : 1 V hasta una altura máxima de 15 m para garantizar la estabilidad temporal de los mismos. Para llegar hasta el nivel de excavación requerido, entre cada talud se deberá dejar una berma de 5 m de ancho y luego continuar con el corte del siguiente talud con la inclinación recomendada.

Las bermas tendrán una contrapendiente hacia la parte interior del corte, en esta zona se deberá construir una cuneta que capte y evacue adecuadamente fuera del área de excavación, todas las aguas de escorrentía superficial recolectadas.

Considerando las características de los materiales se especifica utilizar malla electrosoldada o fibra de acero, concreto lanzado y pernos de anclaje para protección y estabilización de los taludes.

## **Opción 2 : Excavación con pantalla de pilotes**

La segunda opción propone el uso de muros pantalla con pilotes preexcavados y soporte con pernos de anclaje en todo el perímetro del edificio de la casa de máquinas.

Se deberá realizar una excavación con bermas y taludes como se especificó anteriormente hasta llegar a la elevación 315 msnm. A partir de esta elevación se iniciará la construcción de un muro pantalla de pilotes anclados. Los pilotes se harán preexcavados, colados en sitio y con armadura de acero. Tendrán un diámetro de 30 cm y una longitud total de 18 m, separados 60 cm entre líneas de centro. Conforme se avance con la excavación se deberán ir colocando pernos de anclaje pasivos de barras de acero #6, #8 y #10, según se indique en los planos. Posterior a la colocación de pernos se colocará un espesor mínimo de 7,5 cm de concreto lanzado en toda el área del talud que vaya quedando expuesta.

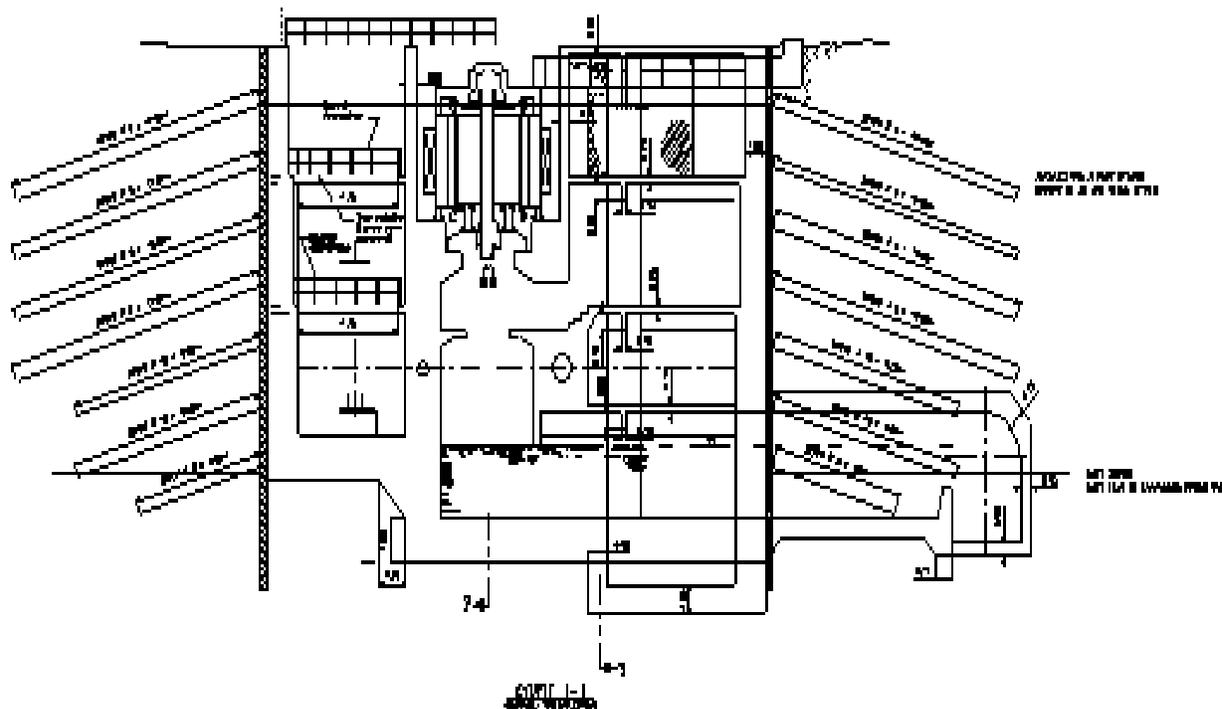


Figura 1. Detalle de pilotes anclados

### Opción 3 : Excavación con pozo profundo

La tercera opción plantea realizar la excavación mediante un pozo profundo, circular, que minimice el volumen de excavaciones requeridas.

Se deberá realizar una excavación con bermas y taludes como se especificó anteriormente hasta llegar a la elevación 325 msnm.

En esta elevación se iniciará la excavación de un pozo piloto de 5 m de diámetro y 25 m de profundidad, se colocarán arcos de viga de acero como

soporte temporal. Este pozo se conectará con el túnel de restitución, por donde se realizará la extracción del material procedente de la excavación del pozo principal, el cual deberá alcanzar la elevación 300,80 msnm. El pozo circular tendrá como soporte temporal arcos de acero fabricados con viga W 8 x 31 y W 10 x 33 según se indique en planos, con una separación de 1 m entre líneas de centro. En cada anillo se colocarán pernos de anclaje. Toda el área expuesta se protegerá con malla electrosoldada y concreto lanzado.

# Metodología

Partiendo de los diseños de excavación propuestos por el Área de Diseño del P. H. Pirrís se procederá a establecer el método y procedimiento para la ejecución de cada una de las diferentes opciones.

Utilizando información y rendimientos establecidos en proyectos de generación eléctrica anteriores, se determinarán los tiempos de ejecución para cada una de las actividades que se establezcan como necesarias en el programa de trabajo, así como los recursos necesarios para cada una de las mismas.

Posteriormente se debe proceder a asignar el costo a cada uno de estos recursos para lo cual se cuenta con las bases de datos del Proyecto. Esto para contar con un costo estimado lo más próximo al costo real.

Finalmente, una vez que se hallan establecido los procedimientos, programas de trabajo y costos de las opciones planteadas se hará una recomendación para la ejecución de la obra, según la conveniencia técnica y económica que presente para el P. H. Pirrís.

# Resultados

## Memorias de cálculo

Para realizar las memorias de cálculo de las diferentes alternativas se utilizaron datos de informes realizados en diferentes trabajos, ejecutados por personal del grupo de construcción de proyectos de generación del ICE. Esta información se obtuvo en su momento por los inspectores de control de producción y costos que laboraron para cada uno de ellos, y que se procesó para los informes finales de cada una de esas obras.

Para el caso de las labores de excavación se consultó el manual de maquinaria de Komatsu para determinar rendimientos, ciclos de operación y recomendaciones de las máquinas más adecuadas según las condiciones que se presentarán en la obra.

También se consultó con el personal técnico y operativo del Proyecto Hidroeléctrico Peñas Blancas para obtener información más reciente y detallada.

Para determinar la jornada de trabajo se toma el horario real que se tendrá en la obra, el cual será bisemanal, teniendo como día de ingreso el martes se laboran diez días seguidos para salir el jueves de la semana siguiente, se descansan cuatro días y se ingresa el martes de la tercera semana para continuar el ciclo. Se descuenta el tiempo de descanso de la mañana, el

cual es de quince minutos, el almuerzo que es de treinta minutos y otro descanso en la tarde de quince minutos, por lo que se tomarán 8,5 horas como tiempo efectivo laborado por día. Es importante también tomar en cuenta tiempos muertos por limpieza y mantenimiento de herramientas, equipos y maquinaria; averías de los equipos, falta de energía eléctrica o agua. Además del tiempo necesario para colocación y desarmado de andamios en las labores que requieren de estas estructuras, así como el acomodo y/o acondicionamiento de los equipos necesarios en cada caso.

Se toman jornadas especiales que son las del personal que labora continuamente, como es el caso de las labores para la excavación del pozo profundo, los vigilantes y el personal que opera las bombas para manejos de aguas. Estos grupos de trabajadores tendrán jornadas de 24 horas. A pesar de que se determinó que no se iba a tener presencia de nivel freático, se estima este personal para el manejo de aguas de escorrentía que se tendrán durante toda la época lluviosa.

En la estimación de las duraciones de cada actividad no se están tomando tiempos muertos que pueden causar las lluvias, pues por el tipo de obra y en las condiciones en las que se realizará será muy susceptible a las condiciones climatológicas adversas, que se presentarán en la zona.

Los volúmenes de excavación se obtuvieron de los levantamientos topográficos realizados hasta el momento, y se determinaron mediante los programas de cómputo que emplean en el área de Topografía y Dibujo del PH Pirrís. Para determinar los volúmenes de lastre necesarios en la obra ya sea para acabado y mantenimiento de bermas y caminos o los necesarios para ir llevando la excavación hasta nivel terminado, se hizo suponiendo una capa de lastre de 0,40 m a 0,50 m de espesor. También se supuso un factor de abultamiento, en este caso de un 30%, para determinar los acarrees y duraciones con el volumen suelto de material.

En los acarrees de materiales para caminos se supone una distancia máxima de 5 Km, por no tener claro en este momento el sitio en el que se tendrán almacenados estos materiales. Para el material producto de la excavación se asume un factor de abultamiento de 40% y en el caso del material de desecho proveniente de la limpieza y desmonte un 50% pues contiene en su mayoría material orgánico y ramas de árboles y arbustos.

La distancia al botadero se supone en promedio de 2 Km, pues el sitio que se tiene previsto está bastante cerca del lugar de la excavación. También se supone una velocidad promedio de 15 Km/hr para las vagonetas cargadas.

En la estimación de costos de la mano de obra se incluye un 52% correspondiente a las cargas sociales, además como se manejan costos en dólares no se incluyeron los aumentos salariales de ley que se realizan al menos dos veces al año pues se asume que la devaluación de la moneda compensa este factor. Se incluye un

factor por horas extras para los trabajadores cuyo salario se calcula por hora.

Es importante recalcar que estos salarios son los que se tienen en las bases de datos actualizadas al primer semestre del año 2002 en el Proyecto Hidroeléctrico Peñas Blancas y que son aplicables al grupo de construcción de proyectos de generación del ICE.

Se definen las cuadrillas típicas según las labores similares realizadas en obras anteriores, tomando en cuenta las recomendaciones expresadas por los encargados de obra en los informes finales o por el personal técnico y operativo que ha ejecutado las mismas.

En el apéndice 1 se presentan las memorias de cálculo que se realizaron para determinar los recursos y duraciones de cada una de las actividades que se deben llevar a cabo para la ejecución de la excavación con bermas y taludes.

Cómo se mencionó en la información general, los cálculos se hicieron basados en los rendimientos obtenidos en trabajos similares ejecutados por los diferentes grupos de construcción de Proyectos Hidroeléctricos, y se tomó el horario de trabajo real del proyecto.

## **Programa de trabajo**

El planeamiento de la obra permite, mediante la especificación de un método constructivo, determinar los costos de las obras y las necesidades e intensidad de demanda de los diferentes recursos. Así como establecer los rendimientos, y con ello la duración de cada una de las actividades que la obra involucra.

Para el proceso constructivo propuesto y con los rendimientos y cálculos mostrados en las memorias, se estiman los programas de trabajo para cada una de las alternativas. Estos se muestran en los apéndices 9, 10 y 11.

En total estos rubros representan cerca del 22% del costo directo total de cada solución, lo cual coincide con el porcentaje que usualmente se maneja en proyectos hidroeléctricos.

## **Presupuesto y recursos**

Para la ejecución de las actividades se deben de emplear diferentes recursos como el personal, maquinaria, equipos, materiales, etc.

En los apéndices 12, 13 y 14 se muestran las tablas con los flujos de los recursos necesarios para cada una de las actividades, así como los costos de cada uno y las tablas de resumen de costos para las actividades y la obra en general.

Se incluyen además los costos indirectos, que son parte importante en el desarrollo de todo proyecto. En estos se incluyen montos correspondientes a vacaciones e incapacidades del personal.

Como se tiene la política de brindar alimentación en los tiempos de café de la mañana y tarde y almuerzo o cena a todo el personal y hospedaje y alimentación completa a un grupo que por lo general representa el 30% del total de la mano de obra, se puede asumir que es parte significativa de los costos a considerar en cada alternativa.

Además es importante incluir los costos por seguridad ocupacional, programa ambiental y control de calidad.

Así mismo, se incluyen los gastos administrativos que encierran los costos por administración, jefaturas, administración y custodia de materiales y equipos, mantenimiento de instalaciones y otros.

## **Excavación con bermas y taludes: descripción del proceso constructivo**

El proceso de excavación se iniciará con las labores de desmonte y limpieza, este procedimiento incluirá la eliminación de la capa vegetal, tala de árboles y descarte de todo material que se pueda considerar como desecho o que no sea de utilidad para el desarrollo de la obra. En este punto se deberá corregir el curso de las aguas superficiales que pudieran encontrarse en el área de trabajo para evitar que dificulte las labores de excavación o de conformación de caminos.

El trabajo de desmonte y limpieza se realizará con dos tractores D6, dos excavadoras PC 220 y una excavadora PC 300 o sus equivalentes en el mercado. Es importante contar con un back hoe para trabajos menores como el manejo de aguas superficiales.

Igualmente en este momento se iniciarán las labores de topografía y construcción de monumentos y ubicación de puntos de referencia que servirán tanto para el trabajo de excavación como para la obra civil que se iniciará más adelante.

A partir de este momento se inicia la excavación necesaria para la conformación del camino de acceso, este se irá ampliando según el avance de la excavación hasta llegar al nivel 300,8 msnm para tener una vía adecuada para el acarreo del material. Dicho trabajo se realizará con dos excavadoras PC 220 para corte y carga del material, el acarreo se hará con trece vagonetas de 12 m<sup>3</sup> de

capacidad. En el botadero se mantendrán dos tractores conformando el material producto de la excavación.

Este camino tendrá 12 m de ancho, 175 m de longitud total y una pendiente de 17 %.

Una vez que se tenga un acceso adecuado se iniciará la excavación hasta llegar a la elevación 325 msnm. Para lo cual se emplearán dos excavadoras PC 220 y una PC 300 en corte y carga de material, para abastecer estos tres frentes de excavación se tendrán veinte vagonetas para acarreo de material hacia el botadero, en este último se mantendrán tres tractores D6 conformando y manteniendo el botadero en buenas condiciones.

Se tendrá una excavadora de gran capacidad como es el caso de la PC 300 por su buen rendimiento en labores de corte y carga en general, pero se tienen las dos máquinas de menor capacidad, que también dan buen rendimiento pero que resultan apropiadas para las labores de corte y afinado de taludes.

En este caso se hace necesario que según se avance en el corte del talud se inicien las labores de estabilización de los mismos, por lo que se propone que las excavadoras lleven un corte inicial hasta 3 m de altura en todo el perímetro de la excavación, para que se inicien los trabajos de concreto lanzado con malla electrosoldada. Durante la colocación de concreto se puede ir avanzando con la excavación del área central y empezar a bajar los siguientes 3 m, hasta completar el corte de esta etapa inicial, pues el talud propuesto tiene una altura máxima de 10 m.

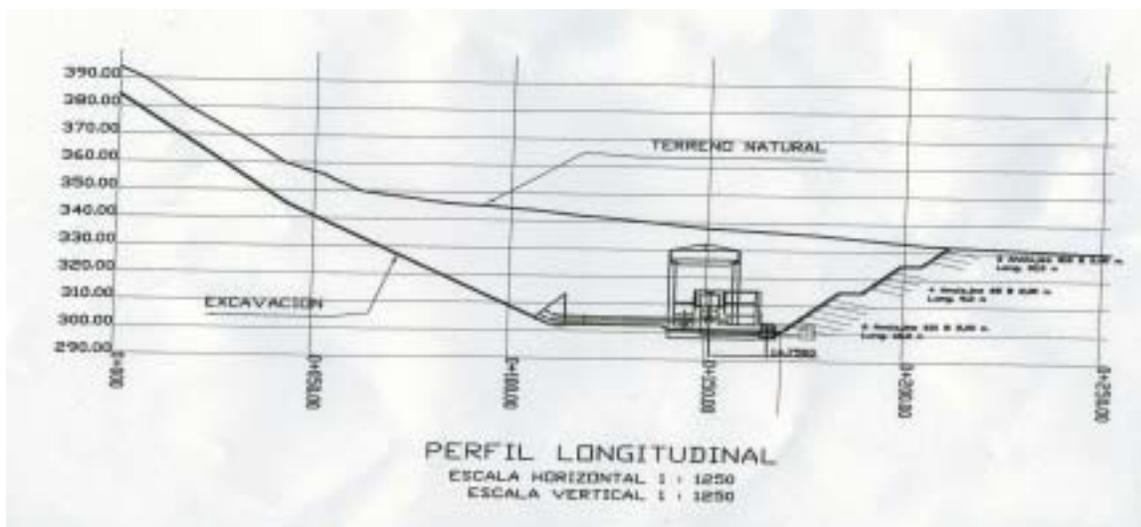


Figura 2. Perfil longitudinal de la excavación

De esta forma cuando se concluye el proceso de excavación y acarreo de material, prácticamente se está finalizando la colocación de concreto lanzado y pernos de anclaje, lo que hace que el proceso sea más seguro pues se garantiza que los taludes no estén expuestos durante mucho tiempo y se eviten posibles deslizamientos.

Al llegar a la elevación 325 msnm se realiza una berma perimetral de 5 m de ancho y que quedará permanentemente pues es parte del sistema para estabilización de los cortes.

Una vez que se alista la berma se marca el corte hasta la elevación 315 msnm, y se procede de la forma anteriormente descrita y con el mismo tipo y cantidad de maquinaria. Al igual que en la etapa anterior se deben llevar cortes de taludes hasta 3 m de altura procurando dar espacio para que se puedan ir llevando los trabajos de concreto lanzado y empernado de los taludes.

Al llegar a la elevación 315 msnm, se realiza otra berma de 5 m de ancho en el costado oeste y se dejarán terrazas de al menos 15 m en los lados norte y sur

que se emplearán para instalaciones provisionales durante el proceso de construcción de obra civil. Se marca el corte final que será de 15 m de altura, el cual se plantea proceder de la misma manera que en los cortes anteriores, sólo que en este caso como el área de trabajo se reduce un poco, se tendrán dos excavadoras PC 220 para corte, cargado y afinado de taludes, como esta etapa se realizará con un poco más de limitaciones de espacio el rendimiento de las máquinas se reduce, por lo tanto se requerirán diez vagonetas para el acarreo y con un tractor en el botadero se garantiza un adecuado manejo y mantenimiento del mismo.

Igualmente se debe procurar el avance en paralelo de las labores de estabilización con concreto lanzado y pernos.

El proceso de concreto lanzado es un sistema muy utilizado en los procesos que buscan proteger el suelo de los ataques atmosféricos y químicos al quedar expuesto en la zona excavada.

La efectividad del concreto lanzado depende tanto de la buena preparación del material como de la técnica de colocación.

Se puede aplicar tanto vía seca como vía húmeda. El primero se puede utilizar en aquellos frentes en donde no se cuente con las condiciones necesarias para la aplicación por la vía húmeda. Para este último, la mezcla de concreto se prepara de la manera convencional y se envía hasta el sitio donde se encuentre la máquina, en ese punto se le agrega el aditivo y se impulsa mediante aire comprimido.

Para el proceso se puede usar la máquina de lanzar concreto tipo Aliva Duplo 285 que permite trabajar en cualquiera de las dos formas.

Deben considerarse factores como la presión del agua y del aire, la distancia entre la boquilla y la superficie y en general controlar la técnica con que se aplica este proceso.

La distancia óptima entre la boquilla y la superficie debe ser de 1 m, y la mezcla deberá lanzarse en forma perpendicular a la superficie. Antes de colocar el concreto, la superficie debe estar bien humedecida y limpia.



**Figura 3.** Colocación de concreto lanzado.

Para este proceso se dispone de equipos que pueden facilitar y agilizar las labores, como es el caso del Robo-Jet, que es un equipo con brazos hidráulicos articulados para el soporte de mangueras que permiten la colocación de concreto lanzado por medio de control remoto. Algunos de estos sistemas tienen instalada la máquina para lanzar concreto en su estructura, o bien los implementos necesarios para acoplar una máquina individual. El sistema articulado permite movimientos hacia delante y hacia atrás y en forma circular hasta 180°. En la boquilla de salida se tienen movimientos circulares para dar un mejor acabado al concreto.

En el caso de la aplicación vía seca, se debe tener la previsión de mantener los agregados en un lugar adecuado que garantice que estarán libres de humedad para evitar atrasos por formación de tapones que causen averías en los equipos y mangueras.

Para el desarrollo de esta actividad se habilitarán dos frentes de trabajo.

Para la instalación de los anclajes con lechada, el proceso de perforación deberá provocar la menor alteración posible de las características del terreno en las cercanías de la pared de la perforación. Las perforaciones se harán con las longitudes e inclinaciones indicadas en los planos de diseño.

Se empleará una lechada de agua y cemento (A/C) con relación de 0,5 y debe tener una resistencia a la compresión simple no menor de 300 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

En general, los anclajes se colocarán en forma perpendicular a la superficie teórica de excavación si esta es plana y en forma radial si es curva.

El inicio de la perforación se ubicará cuidando que la distancia entre los anclajes no varíe en más del 10% con respecto a lo indicado en los planos.

El equipo de perforación puede ser a rotación, percusión o una combinación de ambos, dependiendo del tipo de terreno. Por lo que se pueden utilizar perforadoras manuales neumáticas, con pie de empuje; o bien, equipos más complejos como el Jumbo basado en un sistema hidráulico compuesto por un vagón de traslación, dos o tres brazos articulados con guías para dar línea y un martillo perforador que permiten la perforación automatizada del frente. Cuenta con una caseta de mando con controles tipo "joystick" para los movimientos de los brazos.

Una vez hecha la perforación, ésta se llenará con agua y se mantendrá así hasta el momento de la inyección, eliminándose los residuos y el agua atrapada por medio de un barrido con aire. En los casos que las paredes no se mantengan estables, la perforación deberá ser ademada.

El llenado con lechada de la perforación se realizará con una bomba, evitando el llenado en forma manual. En este proceso se deberá observar si el nivel baja, en cuyo caso se seguirá llenando hasta que se mantenga estable.

Se utilizarán separadores en el anclaje para asegurar que la inyección con lechada cubra completamente el elemento y que la barra quedará centrada en la perforación. El tipo de separador recomendado es de PVC.

La cabeza del anclaje estará constituida por una placa metálica, el extremo de la barra estará roscado y deberá quedar sobresaliendo de la capa de concreto lanzado.

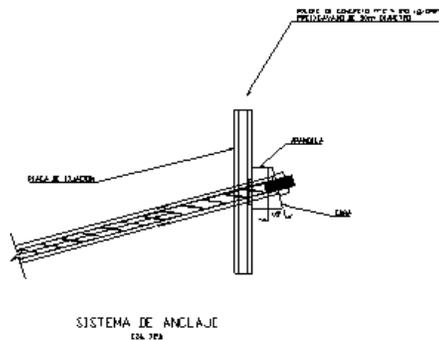


Figura 4. Detalle del sistema de anclaje

## Excavación con pantalla de pilotes: descripción del proceso constructivo

El proceso de excavación se iniciará con las labores de desmonte y limpieza, este procedimiento incluirá la eliminación de la capa vegetal, tala de árboles y descarte de todo material que se pueda considerar como desecho o que no sea de utilidad para el desarrollo de la obra. En este punto se deberá corregir el curso de las aguas superficiales que pudieran encontrarse en el área de trabajo para evitar que dificulte las labores de excavación o de conformación de caminos.

El trabajo de desmonte y limpieza se realizará con dos tractores D6, dos excavadoras PC 220 y una excavadora PC 300 o sus equivalentes en el mercado. Es importante contar con un back hoe para trabajos menores como el manejo de aguas superficiales.

Igualmente en este momento se iniciarán las labores de topografía y construcción de monumentos y ubicación de puntos de referencia que servirán tanto para el trabajo de excavación como para la obra civil que se iniciará más adelante.

A partir de este momento se inicia la excavación necesaria para la conformación del camino de acceso, este se irá ampliando según el avance de la excavación hasta llegar al nivel 300,8 msnm para tener una vía adecuada para el acarreo del material. Dicho trabajo se realizará con dos excavadoras PC 220 para corte y carga del material, el acarreo se hará con trece vagonetas de 12 m<sup>3</sup> de capacidad.

En el botadero se mantendrán dos tractores conformando el material producto de la excavación.

Este camino tendrá 12 m de ancho, 175 m de longitud total y una pendiente de 17%.

Una vez que se tenga un acceso adecuado se iniciará la excavación hasta llegar a la elevación 325 msnm. Para lo cual se emplearán dos excavadoras PC 220 y una PC 300 en corte y carga de material, para abastecer estos tres frentes de excavación se tendrán veinte vagonetas para acarreo de material hacia el botadero, en este último se mantendrán dos tractores D6 conformando y manteniendo el botadero en buenas condiciones.

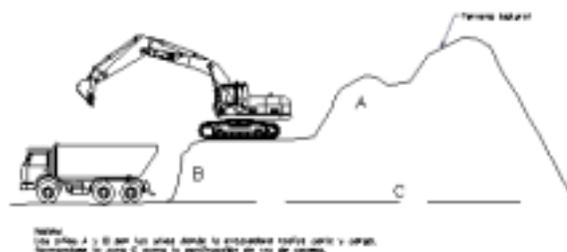


Figura 5. Procedimiento de corte hacia adelante

Se tendrá una excavadora de gran capacidad como es el caso de la PC 300 por su buen rendimiento en labores de corte y carga en general, pero se tienen las dos máquinas más pequeñas, que también dan buen rendimiento pero que resultan apropiadas para las labores de corte y afinado de taludes.

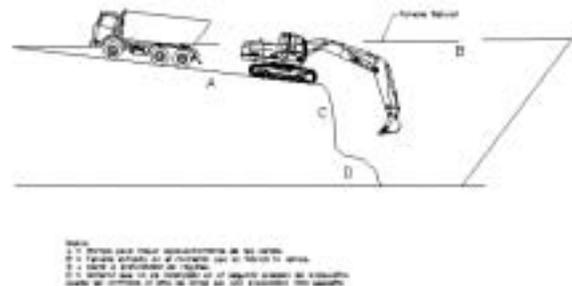
En esta situación se hace necesario que según se avance en el corte del talud se inicien las labores de estabilización de los mismos, por lo que se propone que las excavadoras lleven un corte inicial hasta 3 m de altura en todo el perímetro de la excavación, para que se inicien los trabajos de concreto lanzado. Durante la colocación de concreto se puede ir avanzando con la excavación del área central y empezar a bajar los siguientes 3 m, hasta completar el corte de esta etapa inicial, pues el talud propuesto tiene una altura máxima de 10 m.

De esta forma cuando se concluye el proceso de excavación y acarreo de material, prácticamente se está finalizando la colocación de concreto lanzado y pernos de anclaje, lo que hace que el proceso sea más seguro pues se garantiza que los taludes no estén expuestos durante mucho tiempo y se eviten posibles deslizamientos.

En esta elevación se realiza una berma perimetral de 5 m de ancho y que quedará permanentemente pues es parte del sistema para estabilización de los cortes.

Una vez que se alista la berma se marca el corte hasta la elevación 315 msnm, y se procede de igual forma anteriormente descrita y con el mismo tipo y cantidad de maquinaria. Al igual que en la etapa anterior se deben llevar cortes de taludes hasta 3 m de altura

procurando dar espacio para que se puedan ir llevando los trabajos de concreto lanzado y empernado de los taludes.



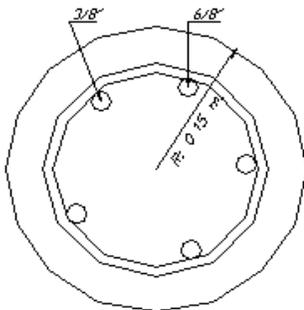
**Figura 6.** Procedimiento de corte hacia atrás.

Al llegar a la elevación 315 msnm, se realizará el lastreo de una terraza que se empleará para instalaciones provisionales durante el proceso de construcción de la obra civil, dejando el área de excavación requerida para llegar hasta el nivel de fundación. Esta área será un rectángulo de 30.9 m x 23.7 m con un corte final que será de 15 m de altura.

Para el cual se plantea realizar una pantalla perimetral de pilotes preexcavados de 30 cm de diámetro, separados 60 cm entre líneas de centro de cada uno.

Para estas perforaciones se propone utilizar una perforadora tipo Drill Tech con la que es posible realizar hasta dos perforaciones por día en jornada ordinaria, por lo que se plantea ejecutar esta labor con horario especial y hacer un frente de trabajo laborando las 24 horas al día.

Una vez que se tenga lista la perforación se introducirá una armadura de acero de refuerzo formada por cinco varillas # 6 colocadas verticalmente, con acero longitudinal de forma helicoidal con varilla # 3 con paso a cada 30 cm. Posteriormente se deberá colocar el concreto con una resistencia mínima a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.



ACERO VERTICAL 5#6  
ACERO LONG. #3 HELICOIDAL, PASO @ 30 cm

DETALLE SECCION DEL PILOTE

**Figura 7.**Detalle de la sección del pilote

Una vez que se hallan realizado los pilotes se deberá iniciar el proceso de excavación final que va desde la elevación 315 hasta el nivel de fundación en la 300,8. En este caso como el área de trabajo es bastante reducida y además el corte se debe llevar totalmente vertical al lado de los pilotes, por lo que se tendrá una excavadora PC 300 para corte y carga, y una PC 120 para corte final y afinado de taludes, como esta etapa se realizará con un poco más de limitaciones de espacio el rendimiento de las máquinas se reduce, por lo tanto se requerirán seis vagonetas para el acarreo y con un tractor en el botadero se garantiza un adecuado manejo y mantenimiento del mismo.

La excavadora de mayor capacidad ingresa al área de excavación por el camino de acceso que se ha construido desde el inicio, llevando el corte hacia delante y tratando de mantener la pendiente máxima del camino apta para que las vagonetas transiten adecuadamente.

Posteriormente la excavadora empieza el retorno haciendo corte a profundidad, procurando alcanzar el máximo que le permita el brazo, que son aproximadamente 5 metros. En este momento está quedando una capa de alrededor de 3 m de espesor que deberá ser cortada por la máquina más pequeña, la cual se encargará de acercar este material a la excavadora PC 300.



**Figura 8.**Procedimiento de corte y carga a profundidad

La máquina de mayor capacidad sacará tanto material como le sea posible haciendo el corte a profundidad, llegado el momento en que se dificulte este proceso, esta máquina saldrá del proceso y quedará únicamente la máquina pequeña que será asistida por un malacate eléctrico o grúa móvil ubicado en la elevación 315 msnm. En esta parte del proceso la excavadora se encuentra dentro de la excavación, cortará el material y lo cargará en un balde de volteo, el cual será sacado con la ayuda del malacate y se cargarán las vagonetas para su desecho en el botadero.

Una vez que se concluya todo el proceso se deberá ubicar una grúa en la elevación 315 msnm, para sacar la máquina de la excavación.

Durante el proceso de corte y carga la máquina de menor capacidad irá cortando y afinando los taludes que quedarán expuestos para que se pueda iniciar la colocación de pernos de anclaje que se deberán colocar en cada pilote, que al igual, se debe procurar el avance en paralelo de las labores de estabilización con concreto lanzado y pernos.

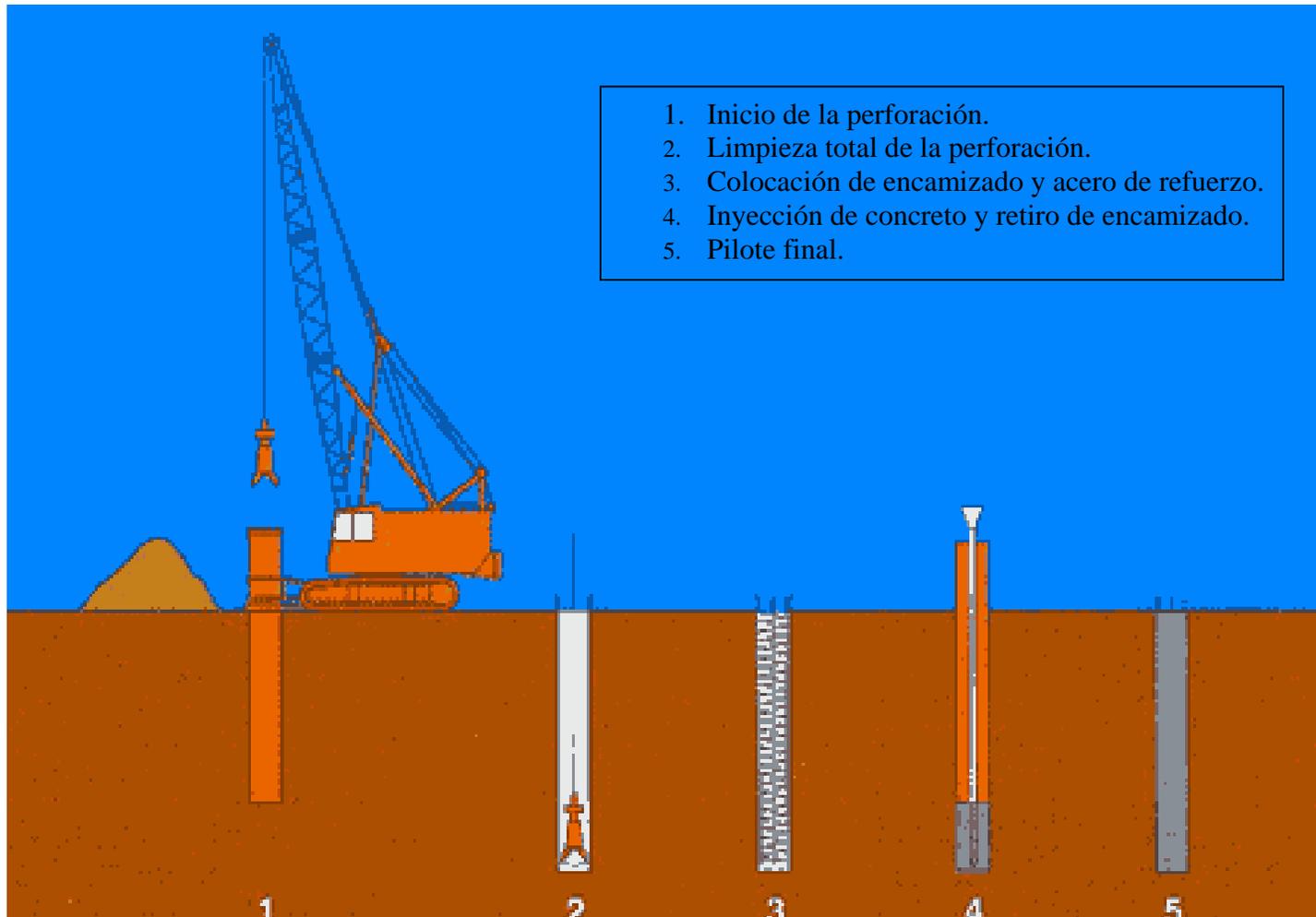
Por el tipo de suelo que se encuentra en la zona, las perforaciones se realizarán con máquinas rotarias. Mediante el bombeo de agua por la parte inferior de la tubería de la perforadora, se mantiene limpia la perforación. Se ademará utilizando tubería de acero o PVC de pared gruesa, para evitar la falla de las paredes mientras se procede con la colocación de concreto.

El acero de refuerzo se colocará tan pronto como se concluya el proceso de perforación y procurando que la mezcla de concreto sea colada en cada

uno lo más pronto que sea posible, para evitar que las perforaciones se ensucien o tapen. La mezcla de concreto se deberá colocar a presión, iniciando desde el fondo y conforme suba el nivel se puede ir retirando la tubería de ademe.

La chorrea se acabará cuando la mezcla emerja a la superficie y se pueda garantizar un llenado adecuado de la perforación.

Para la instalación de los anclajes pasivos se seguirá el procedimiento descrito en la primera alternativa. Estos se deberán colocar en cada pilote con una separación vertical de 2 m entre ellos, las dos primeras hileras serán en varilla # 6 y tendrán una longitud de 12 m, seguirán dos hileras en varilla # 8 con una longitud de 12 m, dos hileras más de varilla # 10 con una longitud de 9 m y la última en varilla # 8 y con una longitud de 6 m.



**Figura 9.** Procedimiento de perforación para pilotes preexcavados

## **Excavación con pozo profundo: descripción del proceso constructivo**

Al igual que en las dos opciones anteriores, el proceso de excavación se realizará igual hasta la elevación 325 msnm, se iniciará con las labores de desmonte y limpieza, este procedimiento incluirá la eliminación de la capa vegetal, tala de árboles y descarte de todo material que se pueda considerar como desecho o que no sea de utilidad para el desarrollo de la obra. En este punto se deberá corregir el curso de las aguas superficiales que pudieran encontrarse en el área de trabajo para evitar que dificulte las labores de excavación o de conformación de caminos.

El trabajo de desmonte y limpieza se realizará con dos tractores D6, dos excavadoras PC 220 y una excavadora PC 300 o sus equivalentes en el mercado. Es importante contar con un back hoe para trabajos menores como el manejo de aguas superficiales.

Igualmente en este momento se iniciarán las labores de topografía y construcción de monumentos y ubicación de puntos de referencia que servirán tanto para el trabajo de excavación como para la obra civil que se iniciará más adelante.

A partir de este momento se inicia la excavación necesaria para la conformación del camino de acceso, este se irá ampliando según el avance de la excavación hasta llegar al nivel 325 msnm para tener una vía adecuada para el acarreo del material. Dicho trabajo se realizará con dos excavadoras PC 220 para corte y carga del material, el acarreo se hará con trece vagonetas de 12 m<sup>3</sup> de

capacidad. En el botadero se mantendrán dos tractores conformando el material producto de la excavación.

Este camino tendrá 12 m de ancho, 50 m de longitud total y una pendiente de 10 %.

Una vez que se tenga un acceso adecuado se iniciará la excavación hasta llegar a la elevación 325 msnm. Para lo cual se emplearán dos excavadoras PC 220 y una PC 300 en corte y carga de material, para abastecer estos tres frentes de excavación se tendrán veinte vagonetas para acarreo de material hacia el botadero, en este último se mantendrán dos tractores D6 conformando y manteniendo el botadero en buenas condiciones.

Se tendrá una excavadora de gran capacidad como es el caso de la PC 300 por su buen rendimiento en labores de corte y carga en general, pero se tienen las dos máquinas más pequeñas, que también dan buen rendimiento pero que resultan apropiadas para las labores de corte y afinado de taludes.

En este caso se hace necesario que según se avance en el corte del talud se inicien las labores de estabilización de los mismos, por lo que se propone que las excavadoras lleven un corte inicial hasta 3 m de altura en todo el perímetro de la excavación, para que se inicien los trabajos de concreto lanzado con malla electrosoldada. Durante la colocación de concreto se puede ir avanzando con la excavación del área central y empezar a bajar los siguientes 3 m, hasta completar el corte de esta etapa inicial, pues el talud propuesto tiene una altura máxima de 10 m.

De esta forma cuando se concluye el proceso de excavación y acarreo de material, prácticamente se está finalizando la colocación de concreto lanzado y pernos de anclaje, lo que hace que el proceso sea más seguro pues se garantiza que los taludes no estén expuestos durante mucho tiempo y se eviten posibles deslizamientos.

Al concluir la excavación hasta esta elevación se realizará una lastreo de la terraza que quedará y que se empleará para instalaciones provisionales durante el proceso de excavación del pozo y posteriormente, la construcción de la obra civil.

Igualmente se debe procurar el avance en paralelo de las labores de estabilización con concreto lanzado y pernos.

El proceso de concreto lanzado se aplicará según se describió en el proceso constructivo de la primera opción.

En la elevación 325 msnm se marca el corte final que será de 25 m de altura, el cual se plantea realizar mediante un pozo circular de 29 m de diámetro. Para esto se supone que el túnel de restitución del PH Pirrís estará concluido, pues se plantea que la extracción del material producto de la ampliación del pozo principal se realice por la restitución.

El pozo piloto, tendrá un diámetro de 5 m y se iniciará desde la elevación 325 msnm, se irá cortando hacia abajo hasta topar con el piso de la restitución en la elevación 298.25.

En este proceso la extracción del material de excavación se realizará por arriba utilizando una excavadora pequeña como la PC-15 que cortará el material y lo cargará a un balde para que sea extraído con el uso de un malacate

eléctrico, posteriormente se cargarán las vagonetas que lo llevarán hacia el botadero.

Para este pozo piloto se hace necesario la colocación de soporte temporal, para lo cual se emplearán vigas de acero W 6 x 25, colocadas a cada 1 m. Además los espacios entre estos arcos se colocará lámina corrugada de acero.

La ampliación a la sección definitiva, la cual tendrá un diámetro de 29 m, se propone realizarla con una excavadora PC 120 que iniciará desde la elevación 325 msnm, la cual descargará el material producto de la excavación por el pozo piloto para que sean acarreados a través del túnel de restitución.

Debido a las características del suelo se tienen diferentes secciones de anillos así como la distribución, diámetro y longitud de los pernos de anclaje. Desde la elevación 325 y hasta la 311.3 se colocarán arcos de vigas de acero W 8 x 31, desde la 312.3 y hasta la 310.3 serán W 10 x 33, desde la 309.3 hasta la 303.3 con vigas W 8 x 31 y por último desde la 302.3 hasta la 300.3 con arcos de W 10 x 33, todos estarán colocados con una separación de 1 m entre sí.

De la misma forma para los pernos de anclaje, que se colocarán a partir del nivel 320.3 hasta la elevación 318.3 serán de varilla # 8, de la 317.3 a la 310.3 serán de varilla # 10, y desde la 309.3 hasta la 300.3 se colocarán pernos de varilla # 11.

Estos pernos se colocarán en los arcos de acero a partir del nivel indicado anteriormente, la longitud y la distribución de cada uno varía según se indica en planos.

Todos los espacios entre anillos se deberán cubrir con malla electrosoldada y concreto lanzado.

Para la instalación de los anclajes pasivos se seguirá el procedimiento descrito en la primera alternativa.

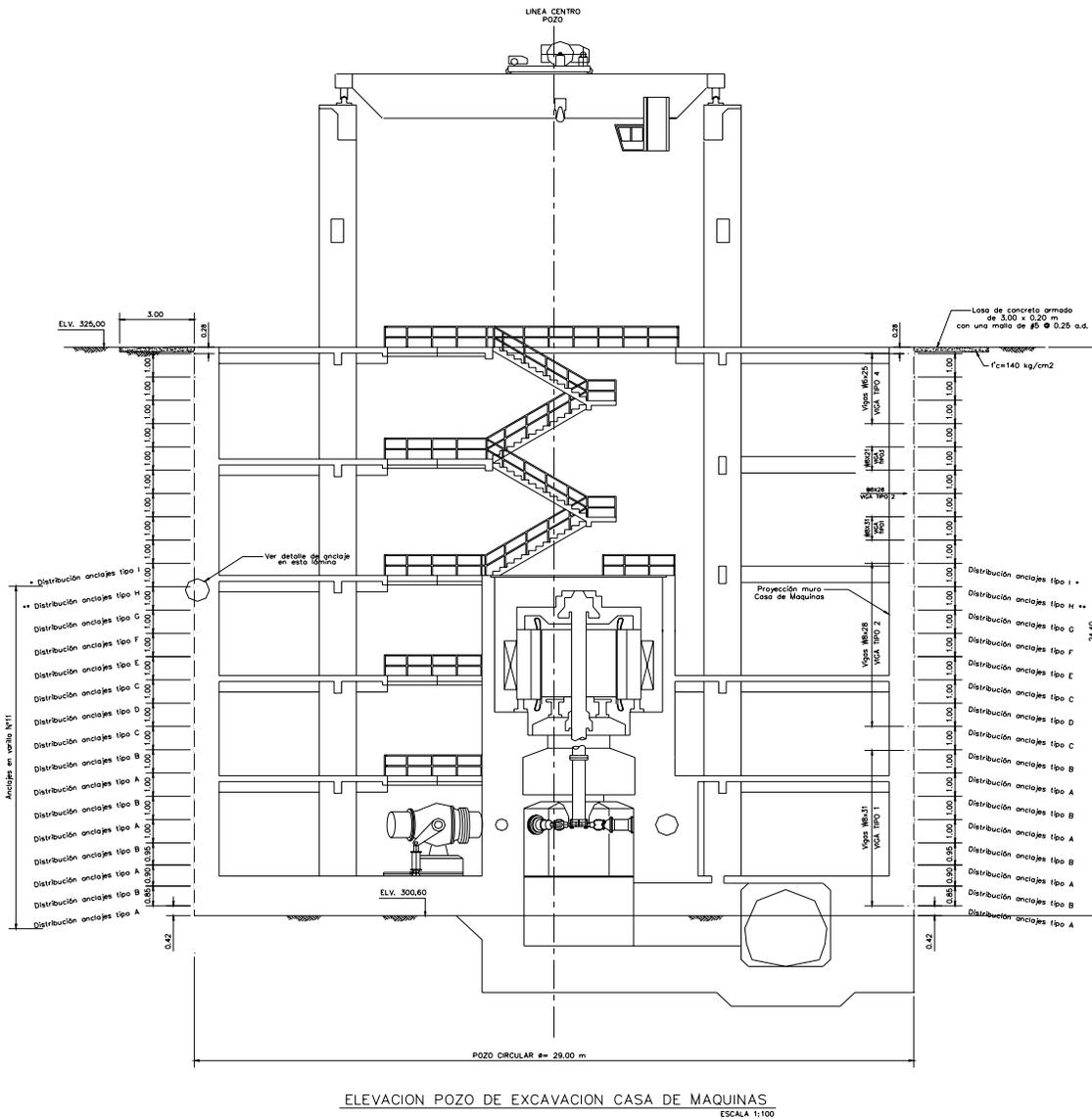


Figura 10. Elevación del pozo de excavación

# Análisis de resultados

Seguidamente se presenta una tabulación de los aspectos más relevantes de cada una de las opciones para facilitar la comparación y la recomendación final.

<b>CUADRO 2. COMPARACIÓN DE RESULTADOS</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>OPCIÓN 1</b>	<b>OPCIÓN 2</b>	<b>OPCIÓN 3</b>
Duración ( días )	448	509	249
Costo estimado ( \$ )	2.164.393	2.590.432	1.754.501
Volumen de excavación ( m <sup>3</sup> )	440.889	342.938	320.245
Volumen de concreto lanzado ( m <sup>3</sup> )	1.994	1.750	377
Pernos de anclaje ( m )	18.675	24.765	6.576
Disponibilidad de recursos	SI	Regular	SI
Disponibilidad de personal especializado	Muy buena	Buena	Muy buena
Nivel de riesgo ocupacional	Medio	Medio	Medio
Mantenimiento del sistema durante la operación de la planta	Alto	Regular	Regular

# Conclusiones

Desde el punto de vista económico, la alternativa que resulta más beneficiosa es la excavación con pozo profundo con un costo de ejecución de \$ 1 782 476.

Si se toma como parámetro para la decisión el plazo de ejecución, resulta más conveniente la opción de excavación con pozo profundo, con una duración total de 249 días.

Se puede decir que la excavación con pozo profundo representa la opción más ventajosa para la ejecución de la obra.

A pesar de que esta alternativa requiere un grupo humano especializado, se tiene buena disponibilidad del mismo dentro de la organización.

Se debe destacar que la opción de pozo profundo es práctica partiendo del hecho de que se tiene concluido el túnel de restitución, por donde se realizará la extracción de material.

Por la incidencia que tiene una obra con el resto del Proyecto, la opción del pozo resulta beneficiosa en el sentido de que ayuda a minimizar los volúmenes de excavación requeridos para la Tubería Forzada.

Por el volumen menor de excavación de esta opción y por el factor antes mencionado se requiere menos área para botadero, lo que implica menor impacto ambiental.

La alternativa con bermas y taludes se hace bastante favorable si no se dispone del personal especializado para la excavación con pozo profundo. Igualmente si se dispone de espacio suficiente para la adecuada inclinación de los taludes.

Cabe resaltar que en la alternativa de bermas y taludes no se incluye el costo y plazo de ejecución del relleno que se requiere desde el nivel de fundación hasta la elevación 315 msnm.

# Apéndices

# Apéndice 1: Memoria de cálculo: Camino de acceso

## Características de la excavación:

Volumen de excavación:	43.587	m <sup>3</sup> b
Área a lastrear para camino:	1.750	m <sup>2</sup>
Espesor de capa de lastre:	0,5	m
Volumen total de lastre:	875	m <sup>3</sup> b

## LASTREOS

Factor volumétrico :	1,4	
Volumen suelto:	1.225	m <sup>3</sup> s
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo :	3,0	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

### 1.1 TRANSPORTE MATERIAL:

<b>Ciclo de vagoneta</b>	<b>Duración (min)</b>
Cargado	3,9
Acarreo y regreso	24,0
Descarga y otros	<b>3,0</b>
	<hr/>
	30,89
N° vagonetas:	4,23

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/h)	Rendimiento total (m3/h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	5	23,31	117	11

### 1.2 EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/h)	Rendimiento total (m3/h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	1	99	99	12
Compactadora CAT CS-563 10 TON	1	65	65	19
Cisterna para agua potable	1			6

## EXCAVACION EN SUELO

### 2.1 CORTE Y CARGADO:

#### Remoción de suelo

Factor volumétrico :	1,45	
Volumen suelto:	63.201	m <sup>3</sup> s
Vagoneta 6X4 12 M3 <input type="button" value="▼"/>		
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo a botadero :	2,5	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
<b>Cuando se usa retroexcavadora para corte y cargado, se pone únicamente en cargado</b>				
a) EQUIPO DE CORTE				
Excavadora PC 300		96		
b) EQUIPO DE CARGADO				
Excavadora PC 220	2	75	149	487

### 2.2 TRANSPORTE MATERIAL:

#### Ciclo de vagoneta

	Duración (min)
Cargado	9,7
Acarreo y regreso	20,0
Descarga y otros	10,0
	<u>39,65</u>
Nº vagonetas:	12,22

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	13	18,16	236	295

### 2.3 EXTENDIDO Y RESERVA EN BOTADERO:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	2	156,74	313,47	202

## ESTIMACIÓN DE COSTO UNITARIO PRELIMINAR PARA EL CAMINO DE

### Accesos y

#### PROGRAMA DE

Volumen a colocar	875	m <sup>3</sup> b	
Duración total	19	horas efectivas	3,1 días calendario
	22	horas hábiles	2,2 días hábiles

Factor hospedaje y alimentación

#### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

### Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la  
así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	1	25,9	2,81	73
Coordinador de obra civil	1	25,9	2,81	73
Encargado de maquinaria pesada	1	25,9	3,81	98
Auxiliar de maquinaria	1	25,9	2,23	58
Peon	2	51,7	1,98	103
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
SUB-TOTAL				404

### Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Vagoneta 6X4 12	5	11	25,61	269
Tractor D6	1	12	39,89	495
Compactadora CAT CS-563 10	1	19	31,34	591
Cisterna para agua potable	1	6	31,34	197
SUB-TOTAL				1.552

### Materiales

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	TOTAL
Geotextil ( 6 x 75 m	2	rollo	39	78
Lastre	1.225	m <sup>3</sup>	2,34	2.867
SUB-TOTAL				2.945

**TOTAL** \$4.900  
**COSTO UNITARIO** \$5,60

## Excavación en

### PROGRAMA DE

Volumen a excavar	43.587	m <sup>3</sup> b	
Duración total	487,2	horas efectivas	94 días calendario
	573,1	horas hábiles	67 días hábiles
			27 días de descanso

### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

### Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	2	1.337,3	2,81	3.759
Coordinador de obra civil	1	668,7	2,81	1.880
Encargado de maquinaria pesada	1	668,7	3,81	2.545
Auxiliar de maquinaria	2	1.337,3	2,23	2.977
Peon	6	4.012,0	1,98	7.952
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
		SUB-TOTAL		19.113

### Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Excavadora PC			62,68	-
Excavadora PC	2	487	41,31	20.125
Vañoneta 6X4 12	13	295	25,61	7.543
Tráctor D6	2	202	39,89	8.042
		SUB-TOTAL		35.710

<b>TOTAL</b>	\$54.823
<b>COSTO UNITARIO</b>	\$1,26

## Apéndice 2: Memoria de cálculo: Concreto lanzado

### 1. CONCRETO LANZADO

La estabilización de taludes se realizará mediante el uso de concreto lanzado, malla electrosoldada y pernos de anclaje pasivos.

Se requiere un espesor mínimo de 0,20 m de concreto lanzado ( $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ )

Se considerará un 45 % de rebote

#### CONCRETO LANZADO HASTA ELEV. 325

Altura = 10 Longitud = 130 Área = 1300,00

$$4400 * 0,2 * 1,45 = 377,00 \text{ m}^3$$

#### CONCRETO LANZADO HASTA ELEV. 315

Altura = 10 Longitud = 310 Área = 3100,00

$$4400 * 0,2 * 1,45 = 899,00 \text{ m}^3$$

#### CONCRETO LANZADO HASTA ELEV. 300,8

Altura = 15 Longitud = 165 Área = 2475,00

$$2475 * 0,2 * 1,45 = 717,75 \text{ m}^3$$

#### TOTAL DE CONCRETO LANZADO

**1993,75 m<sup>3</sup>**

### MATERIALES

Descripción	Cantidad / m <sup>3</sup> de concreto		TOTAL
Cemento	425	kg	847344
Arena	0,514	m <sup>3</sup>	1025
Piedra 12,5 mm	0,616	m <sup>3</sup>	1229
Aditivo	3 % AGUA		11425
Agua	191	l	380807

#### MANO DE OBRA HASTA ELEV. 325

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Coordinador de obra civil	1	2,50	377	150,8	9
Encargado de cuadrilla	2	2,50	377	301,6	9
Operador equipo túnel	2	2,50	377	301,6	9
Tunelero	6	2,50	377	904,8	9
Peon	6	2,50	377	904,8	9

**MAQUINARIA HASTA ELEV. 325**

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales
Back hoe	1	2,50	377	151
Automezcladora	3	2,50	377	452

**EQUIPO HASTA ELEV. 325**

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Máquina para lanzar concreto	2	2,50	377	75	9
Compresor	1	2,50	377	75	9
Planta eléctrica	1	2,50	377	75	9
Depósito para agua y aire	1	2,50	377	75	9
Bomba para agua Bibo 4	2	2,50	377	75	9
Planta para concreto	1	2,50	377	75	9

**MANO DE OBRA HASTA ELEV. 315**

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Coordinador de obra civil	1	2,50	899	359,6	21
Encargado de cuadrilla	2	2,50	899	719,2	21
Operador equipo túnel	2	2,50	899	719,2	21
Tunelero	6	2,50	899	2.157,6	21
Peon	6	2,50	899	2.157,6	21

**MAQUINARIA HASTA ELEV. 315**

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales
Back hoe	1	2,50	899	360
Automezcladora	3	2,50	899	1.079

**EQUIPO HASTA ELEV. 315**

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Máquina para lanzar concreto	2	2,50	899	180	21
Compresor	1	2,50	899	180	21
Planta eléctrica	1	2,50	899	180	21
Depósito para agua y aire	1	2,50	899	180	21
Bomba para agua Bibo 4	2	2,50	899	180	21
Planta para concreto	1	2,50	899	180	21

**MANO DE OBRA HASTA ELEV. 300,8**

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Coordinador de obra civil	1	2,50	718	287,1	17
Encargado de cuadrilla	2	2,50	718	574,2	17
Operador equipo túnel	2	2,50	718	574,2	17
Tunelero	6	2,50	718	1.722,6	17
Peon	6	2,50	718	1.722,6	17

**MAQUINARIA HASTA ELEV. 300,8**

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales
Back hoe	1	2,50	718	287
Automezcladora	2	2,50	718	574

**EQUIPO HASTA ELEV. 300,8**

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Máquina para lanzar concreto	2	2,50	718	144	17
Compresor	1	2,50	718	144	17
Planta eléctrica	1	2,50	718	144	17
Depósito para agua y aire	1	2,50	718	144	17
Bomba para agua Bibo 4	2	2,50	718	144	17
Planta para concreto	1	2,50	718	144	17

### MALLA ELECTROSOLDADA

Área total a cubrir	6875,00 m <sup>2</sup>
Área que cubre una malla ( 2,5 x 6,0 m )	15,0 m <sup>2</sup>
Área útil que cubre una malla ( 2,3 x 5,8 )	13,34 m <sup>2</sup>
6875 / 13,34 =	515,0 ud
10 % Adicional	52 ud
<b>TOTAL =</b>	<b>567,00 ud</b>

### MANO DE OBRA HASTA ELEV. 325

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m2/ h op.)	Area ( m2 )	Horas totales	Duración ( días )
Encargado de cuadrilla	1	3,67	1.300	287,1	14
Artesano	3	3,67	1.300	861,3	14
Peon	6	3,67	1.300	1.722,6	14

### MANO DE OBRA HASTA ELEV. 315

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m2/ h op.)	Area ( m2 )	Horas totales	Duración ( días )
Encargado de cuadrilla	1	3,67	3.100	287,1	33
Artesano	3	3,67	3.100	861,3	33
Peon	6	3,67	3.100	1.722,6	33

### MANO DE OBRA HASTA ELEV. 300,8

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m2/ h op.)	Area ( m2 )	Horas totales	Duración ( días )
Encargado de cuadrilla	1	3,67	2.475	287,1	26
Artesano	3	3,67	2.475	861,3	26
Peon	6	3,67	2.475	1.722,6	26

## CALCULO DE TUBERIA PARA CONCRETO LANZADO

Si se considera que el total del volumen del concreto se realizará por la vía seca, y que el tubo se debe cambiar cada  $100 \text{ m}^3$ , se requieren: 150 tubos

## CALCULO DE TUBERIA

Se estiman 500 m adicionales de tubería para patios e instalaciones

A.- TUBOS PARA AGUA Y AIRE  $500 / 6 = 83 \text{ ud}$

Se requieren 83 ud de 152 mm y 83 ud de 101 mm, e igual cantidad de acoples de cada uno.

Además se requieren empaques, para los cuales se considera un 20% adicional entonces se tiene : 100 ud

Se asumen 10 tomas a lo largo de esta tubería, por lo que se deben incluir ese número de Tees en ambos diámetros. Además se requieren retenedores de agua en la tubería de aire a cada 300 m, por lo que se necesitan 2 codos de 152 mm. Se puede suponer el uso de otras figuras e incluirlas en el presupuesto.

### B.- TUBERIA BOMBEO

Se requieren tres columnas de tubería de 6" en cada frente de colocación (asumiendo 2 frentes )

$20 * 3/6 * 2 = 20 \text{ ud}$

Acoples = 20 ud

Empaques ( 20 % ) = 24 ud

Codos  $90^\circ \phi 6'' = 6 \text{ ud}$

Se deben incluir además los accesorios y herramientas para las máquinas y equipos este cálculo se hace, según los datos de trabajos similares anteriores.

Empaquetaduras :	1 juego cada $100 \text{ m}^3$	20 ud
Mangueras :	1 juego cada $300 \text{ m}^3$	7 ud
Juntas y acoples :	1 juego cada $500 \text{ m}^3$	4 ud
Boquillas :	1 juego cada $50 \text{ m}^3$	40 ud
Manguitos y empaques :	Mangueras * 2	14 ud
Dispositivos :	Igual cantidad que Mangueras	7 ud
Tornillos PARKER :	20 ud / Manguera cada $200 \text{ m}^3$	47 ud

## 2. PERNOS DE ANCLAJE

Para pernos de varilla # 8:

Diámetro del hueco = 50 mm  
Diámetro del perno = 25,4 mm

Para pernos de varilla # 10:

Diámetro del hueco = 65 mm  
Diámetro del perno = 32,3 mm

### PERNOS DE ANCLAJE HASTA ELEV. 325

Anclajes de varilla # 8 = 4 filas  
Longitud de cada perno = 9 m  
Separación entre pernos = 2 m  
Longitud del talud = 245 m  
Altura del talud = 10 m

Cantidad de pernos a colocar = 490 c/u  
Longitud total = 4410 m

Anclajes de varilla # 10 = 3 filas  
Longitud de cada perno = 9 m  
Separación entre pernos = 2 m  
Longitud del talud = 90 m  
Altura del talud = 10 m

Cantidad de pernos a colocar = 135 c/u  
Longitud total = 1215 m

### PARA PERNOS DE VARILLA # 8

#### MANO DE OBRA

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ h perf.)	Longitud de pernos	Horas totales	Duración ( días )
Operador equipo túnel	4	9,84	4.410	1.792,7	19
Coordinador de obra civil	1	9,84	4.410	448,2	19
Encargado de cuadrilla	2	9,84	4.410	896,3	19
Peon	10	9,84	4.410	4.481,7	19

**EQUIPO**

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ hr perf.)	Longitud de pernos	Días totales
Perforadora	4	9,84	4.410	19
Compresor	1	9,84	4.410	19
Planta eléctrica	1	9,84	4.410	19
Bomba para lechada manual	4	9,84	4.410	19

**MATERIALES**

Descripción	Cantidad/ m perforación	Longitud de pernos	Cantidad de pernos	Cantidad total
Varilla # 8 x 6 m °60		4.410	490	735
Lechada				
Cemento ( saco 50 kg )	0,17	4.410	490	735
Aditivo Fluidificante 3 cc por kg cemento ( litros )		4.410	490	110
Aditivo Expansivo 1% peso cemento ( kg )		4.410	490	368
Placa de anclaje 200x200x6,35 mm		4.410	490	490
Tuercas		4.410	490	490

**PARA PERNOS DE VARILLA # 10****MANO DE OBRA**

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ h perf.)	Longitud de pernos	Horas totales	Duración ( días )
Operador equipo túnel	4	7,68	1.215	1.792,7	7
Coordinador de obra civil	1	7,68	1.215	448,2	7
Encargado de cuadrilla	2	7,68	1.215	896,3	7
Peon	10	7,68	1.215	4.481,7	7

## EQUIPO

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ hr perf.)	Longitud de pernos	Días totales
Perforadora	4	7,68	1.215	7
Compresor	1	7,68	1.215	7
Planta eléctrica	1	7,68	1.215	7
Bomba para lechada manual	4	7,68	1.215	7

## MATERIALES

Descripción	Cantidad/ m perforación	Longitud de pernos	Cantidad de pernos	Cantidad total
Varilla # 10 x 6 m °60		1.215	135	203
Lechada				
Cemento ( saco 50 kg )	0,23	1.215	135	279
Aditivo Fluidificante 3 cc por kg cemento ( litros )		1.215	135	42
Aditivo Expansivo 1% peso cemento ( kg )		1.215	135	140
Placa de anclaje 200x200x6,35 mm		1.215	135	135
Tuercas		1.215	135	135

## PERNOS DE ANCLAJE HASTA ELEV. 315

Anclajes de varilla # 8 =	4 filas
Longitud de cada perno =	9 m
Separación entre pernos =	2 m
Longitud del talud =	330 m
Altura del talud =	10 m
Cantidad de pernos a colocar =	660 c/u
Longitud total =	5940 m

## PARA PERNOS DE VARILLA # 8

### MANO DE OBRA

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ h perf.)	Longitud de pernos	Horas totales	Duración ( días )
Operador equipo túnel	4	9,84	5.940	1.792,7	25
Coordinador de obra civil	1	9,84	5.940	448,2	25
Encargado de cuadrilla	2	9,84	5.940	896,3	25
Peon	10	9,84	5.940	4.481,7	25

### EQUIPO

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ día perf.)	Longitud de pernos	Días totales
Perforadora	4	9,84	5.940	25
Compresor	1	9,84	5.940	25
Planta eléctrica	1	9,84	5.940	25
Bomba para lechada manual	4	9,84	5.940	25

### MATERIALES

Descripción	Cantidad/ m perforación	Longitud de pernos	Cantidad de pernos	Cantidad total
Varilla # 8 x 6 m °60		5.940	660	990
Lechada				
Cemento ( saco 50 kg )	0,17	5.940	660	990
Aditivo Fluidificante 3 cc por kg cemento ( litros )		5.940	660	149
Aditivo Expansivo 1% peso cemento ( kg )		5.940	660	495
Placa de anclaje 200x200x6,35 mm		5.940	660	660
Tuercas		5.940	660	660

## PERNOS DE ANCLAJE HASTA ELEV. 300,8

Anclajes de varilla # 10 = 6 filas  
Longitud de cada perno = 12 m  
Separación entre pernos = 2 m  
Longitud del talud = 40 m  
Altura del talud = 15 m

Cantidad de pernos a colocar = 120 c/u  
Longitud total = 1440 m

Anclajes de varilla # 10 = 6 filas  
Longitud de cada perno = 18 m  
Separación entre pernos = 2 m  
Longitud del talud = 105 m  
Altura del talud = 15 m

Cantidad de pernos a colocar = 315 c/u  
Longitud total = 5670 m

## PARA PERNOS DE VARILLA # 10

### MANO DE OBRA

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ h perf.)	Longitud de pernos	Horas totales	Duración ( días )
Operador equipo túnel	4	7,68	5.670	1.792,7	31
Coordinador de obra civil	1	7,68	5.670	448,2	31
Encargado de cuadrilla	2	7,68	5.670	896,3	31
Peon	10	7,68	5.670	4.481,7	31

### EQUIPO

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ h perf.)	Longitud de pernos	Días totales
Perforadora	4	7,68	5.670	31
Compresor	1	7,68	5.670	31
Planta eléctrica	1	7,68	5.670	31
Bomba para lechada manual	4	7,68	5.670	31

## MATERIALES

Descripción	Cantidad/ m perforación	Longitud de pernos	Cantidad de pernos	Cantidad total
Varilla # 10 x 6 m °60		7.110	435	1.185
Lechada				
Cemento ( saco 50 kg )	0,23	7.110	435	1.635
Aditivo Fluidificante 3 cc por kg cemento ( litros )		7.110	435	245
Aditivo Expansivo 1% peso cemento ( kg )		7.110	435	818
Placa de anclaje 200x200x6,35 mm		7.110	435	435
Tuercas		7.110	435	435

### LONGITUD TOTAL DE PERNOS

Varilla # 8 = 10350 m  
Varilla # 10 = 8325 m

# Apéndice 3: Memoria de cálculo: Excavación hasta la elevación 325

## MEMORIA DE CÁLCULO PARA EXCAVACION HASTA ELEVACIÓN 325,0

### Características de la excavación:

Área para desmonte y limpieza:	24.092	m <sup>2</sup>
Profundidad promedio de corte en limpieza:	0,60	m
Volumen de excavación:	129.798	m <sup>3</sup> b
Altura máxima de cortes:	10	m
Cantidad de accesos para corte:	2	c/ u
Longitud media de accesos para corte:	30	m
Espesor de capa de lastre:	0,4	m
Ancho de superficie de rodamiento:	8	m
Volumen de lastre de accesos para corte:	1.152	m <sup>3</sup> b
Área a lastrear para terrazas y bermas:	3.600	m <sup>2</sup>
Espesor de capa de lastre:	0,4	m
Volumen de lastre para bermas:	1.440	m <sup>3</sup> b
Volumen total de lastre:	2.592	m <sup>3</sup> b
Horas mínimas diarias para tarifa de equipos		

### DESMONTE Y LIMPIEZA

Factor volumétrico :	1,5	
Volumen suelto:	21.682	m <sup>3</sup> s
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo :	2,5	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

### 1.1 TRANSPORTE MATERIAL:

Ciclo de vagoneta	Duración (min)
Cargado	9,7
Acarreo y regreso	20,0
Descarga y otros	10,0
	<u>39,65</u>
N° vagonetas:	27,73

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	28	18,16	508	85

## 1.2 CORTE Y CARGA:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	2	157	313	80
Excavadora PC 220	2	75	149	106
Excavadora PC 300	1	96	96	
			245	

## ACCESOS Y LASTREOS

Factor volumétrico :	1,3	
Volumen suelto:	3.370	m <sup>3</sup> s
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo :	5,0	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

## 2.1 TRANSPORTE MATERIAL:

Ciclo de vagoneta	Duración (min)
Cargado	11,1
Acarreo y regreso	40,0
Descarga y otros	8,0
	<u>59,08</u>
N° vagonetas:	8,10

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	8	12,19	98	41

## 2.2 EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	1	99	99	38
Compactadora CAT CS-563 10 TON	1	65	65	54
Cisterna para agua potable	1			18

## EXCAVACION EN SUELO

### 3.1 CORTE Y CARGADO:

#### Remoción de suelo

Factor volumétrico :	<b>1,45</b>	
Volumen suelto:	188.207	m <sup>3</sup> s
<hr/>		
Vagoneta 6X4 12 M3		
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo a botadero :	<b>2,5</b>	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
<b>Cuando se usa retroexcavadora para corte y cargado, se pone únicamente en cargado</b>				
<b>a) EQUIPO DE CORTE</b>				
Excavadora PC 300		96		
<b>b) EQUIPO DE CARGADO</b>				
Excavadora PC 300	<b>1</b>	96	96	920
Excavadora PC 220	<b>2</b>	75	149	
			245	

### 3.2 TRANSPORTE MATERIAL:

#### Ciclo de vagoneta

	<b>Duración (min)</b>
Cargado	9,7
Acarreo y regreso	20,0
Descarga y otros	<b>10,0</b>
	<hr/>
	39,65
N° vagonetas:	19,51

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	20	18,16	363	829

### 3.3 EXTENDIDO Y RESERVA EN BOTADERO:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	2	156,74	313,47	720

**ESTIMACION DE COSTO UNITARIO PRELIMINAR HASTA ELEVACION 325,0**

**Desmonte y limpieza**

PROGRAMA DE TRABAJO

Volumen =	14.455	m <sup>3</sup> b	
Duración total =	106	horas efectivas	17 días calendario
	131	horas hábiles	12 días hábiles

Factor hospedaje y alimentación =

JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,50	horas
Horas pagadas	11,8	horas
Factor de horas extras	1,17	

**Mano de Obra**

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la maquinaria, así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los equipos.

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	4	298,8	2,81	840
Coordinador de obra civil	1	74,7	2,81	210
Encargado de maquinaria pesada	1	74,7	3,81	284
Auxiliar de maquinaria pesada	2	149,4	2,23	333
Peon	6	448,3	1,98	888
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
SUB-TOTAL				2.556

**Equipos**

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Vagoneta 6X4 12 M3	28	85	25,61	2.185
Tractor D6	2	80	39,89	3.173
Excavadora PC 220	2	85	41,31	3.505
Excavadora PC 300	1	42	62,68	2.659
SUB-TOTAL				11.520

**TOTAL**      ¢14.076  
**COSTO UNITARIO**      ¢0,97

## Accesos y

### PROGRAMA DE

Volumen a colocar	2.592	m <sup>3</sup> b	
Duración total	54	horas efectivas	9 días calendario
	64	horas hábiles	6 días hábiles

Factor hospedaje y alimentación

### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

## Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la  
así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	1	74,7	2,81	210
Coordinador de obra civil	1	74,7	2,81	210
Encargado de maquinaria pesada	1	74,7	3,81	284
Auxiliar de maquinaria	1	74,7	2,23	166
Peon	2	149,4	1,98	296
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
SUB-TOTAL				1.167

## Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Vagoneta 6X4 12	8	41	25,61	1.062
Tractor D6	1	38	39,89	1.498
Compactadora CAT CS-563 10	1	54	31,34	1.706
Cisterna para agua potable	1	18	31,34	569
SUB-TOTAL				4.835

## Materiales

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	TOTAL
Geotextil ( 6 x 75 m	2	rollo	39	78
Lastre	3.370	m <sup>3</sup>	2,34	7.885
SUB-TOTAL				7.963

**TOTAL** \$13.964  
**COSTO UNITARIO** \$5,39

## Excavación en

### PROGRAMA DE

Volúmen a excavar	129.798	m <sup>3</sup> b	
Duración total	920,5	horas efectivas	178 días calendario
	1082,9	horas hábiles	127 días hábiles
			51 días de descanso

### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

### Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la  
así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	4	5.053,6	2,81	14.206
Coordinador de obra civil	1	1.263,4	2,81	3.551
Encargado de maquinaria pesada	1	1.263,4	3,81	4.809
Auxiliar de maquinaria	3	3.790,2	2,23	8.436
Peon	6	7.580,4	1,98	15.024
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
SUB-TOTAL				46.027

### Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Excavadora PC	1	384	62,68	24.039
Excavadora PC	2	767	41,31	31.688
Vagoneta 6X4 12	20	829	25,61	21.238
Tractor D6	2	720	39,89	28.737
SUB-TOTAL				105.702

<b>TOTAL</b>	\$151.729
<b>COSTO UNITARIO</b>	\$1,17

# Apéndice 4: Memoria de cálculo: Excavación hasta elevación 315

## MEMORIA DE CÁLCULO PARA EXCAVACION HASTA ELEVACIÓN 315,0

### Características de la excavación:

Área para desmonte y limpieza:		m <sup>2</sup>
Profundidad promedio de corte en limpieza:	0,60	m
Volumen de excavación:	144.699	m <sup>3</sup> b
Altura máxima de cortes:	10	m
Cantidad de accesos para corte:	2	c/ u
Longitud media de accesos para corte:	40	m
Espesor de capa de lastre:	0,4	m
Ancho de superficie de rodamiento:	8	m
Volumen de lastre de accesos para corte:	1.536	m <sup>3</sup> b
Área a lastrear para terrazas y bermas:	3.875	m <sup>2</sup>
Espesor de capa de lastre:	0,4	m
Volumen de lastre para bermas:	1.550	m <sup>3</sup> b
Volumen total de lastre:	3.086	m <sup>3</sup> b
Horas mínimas diarias para tarifa de equipos		

### ACCESOS Y LASTREOS

Factor volumétrico :	1,3	
Volumen suelto:	4.012	m <sup>3</sup> s
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo :	3,0	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

#### 1.1 TRANSPORTE MATERIAL:

Ciclo de vagoneta	Duración (min)
Cargado	3,9
Acarreo y regreso	24,0
Descarga y otros	3,0
	<u>30,89</u>
N° vagonetas:	4,23

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	5	23,31	117	34

#### 1.2 EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	1	99	99	41
Compactadora CAT CS-563 10 TON	1	65	65	62
Cisterna para agua potable	1			21

## EXCAVACION EN SUELO

### 2.1 CORTE Y CARGADO:

#### Remoción de suelo

Factor volumétrico : **1,45**  
 Volumen suelto: 209.814 m<sup>3</sup>s

Vagoneta 6X4 12 M3

Capacidad vagonetas : 12 m<sup>3</sup>s  
 Distancia de acarreo a botadero : **2,5** km  
 Velocidad máxima cargada : 15 km/ hr

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
<b>Cuando se usa retroexcavadora para corte y cargado, se pone únicamente en cargado</b>				
a) EQUIPO DE CORTE				
Excavadora PC 300		96		
b) EQUIPO DE CARGADO				
Excavadora PC 220	<b>2</b>	75	149	
Excavadora PC 300	<b>1</b>	96	96	
			245	1.026

### 2.2 TRANSPORTE MATERIAL:

#### Ciclo de vagoneta

	Duración (min)
Cargado	9,7
Acarreo y regreso	20,0
Descarga y otros	<b>10,0</b>
	<u>39,65</u>
N° vagonetas:	19,51

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	20	18,16	363	924

### 2.3 EXTENDIDO Y RESERVA EN BOTADERO:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	2	156,74	313,47	803

## ESTIMACIÓN DE COSTO UNITARIO PRELIMINAR HASTA ELEVACIÓN

### Accesos y

#### PROGRAMA DE

Volumen a colocar	3.086	m <sup>3</sup> b	
Duración total	62	horas efectivas	10,2 días calendario
	73	horas hábiles	7,3 días hábiles

Factor hospedaje y alimentación

#### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

### Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	1	84,7	2,81	238
Coordinador de obra civil	1	84,7	2,81	238
Encargado de maquinaria pesada	1	84,7	3,81	322
Auxiliar de maquinaria	1	84,7	2,23	189
Peon	2	169,4	1,98	336
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
SUB-TOTAL				1.323

### Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Vagoneta 6X4 12	5	34	25,61	882
Tractor D6	1	41	39,89	1.621
Compactadora CAT CS-563 10	1	62	31,34	1.934
Cisterna para agua potable	1	21	18,46	380
SUB-TOTAL				4.817

### Materiales

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	TOTAL
Geotextil ( 6 x 75 m	2	rollo	39	78
Lastre	4.012	m <sup>3</sup>	2,34	9.388
SUB-TOTAL				9.466

**TOTAL** \$15.606  
**COSTO UNITARIO** \$5,06

## Excavación en

### PROGRAMA DE

Volúmen a excavar	144.699	m <sup>3</sup> b	
Duración total	1026,1	horas efectivas	199 días calendario
	1207,2	horas hábiles	142 días hábiles
			57 días de descanso

### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

### Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la  
así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	3	4.225,3	2,81	11.878
Coordinador de obra civil	1	1.408,4	2,81	3.959
Encargado de maquinaria pesada	1	1.408,4	3,81	5.361
Auxiliar de maquinaria	2	2.816,9	2,23	6.270
Peon	6	8.450,6	1,98	16.749
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
SUB-TOTAL				44.217

### Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Excavadora PC	1	428	62,68	26.799
Excavadora PC	2	855	41,31	35.326
Vagoneta 6X4 12	20	924	25,61	23.676
Tractor D6	2	803	39,89	32.036
SUB-TOTAL				117.836

<b>TOTAL</b>	\$162.054
<b>COSTO UNITARIO</b>	\$1,12

# Apéndice 5: Memoria de cálculo: Excavación con bermas y taludes hasta elevación 300,8

## MEMORIA DE CÁLCULO PARA EXCAVACION HASTA LA ELEVACIÓN 300,80

### Características de la excavación:

Área para desmonte y limpieza:		m <sup>2</sup>
Profundidad promedio de corte en limpieza:	0,60	m
Volumen de excavación:	37.968	m <sup>3</sup> b
Altura máxima de cortes:	15	m
Cantidad de accesos para corte:	3	c/ u
Longitud media de accesos para corte:	40	m
Espesor de capa de lastre:	0,4	m
Ancho de superficie de rodamiento:	8	m
Volumen de lastre de accesos para corte:	2.304	m <sup>3</sup> b
Área a lastrear para terrazas y bermas:		m <sup>2</sup>
Espesor de capa de lastre:	0,4	m
Volumen de lastre para bermas:		m <sup>3</sup> b
Volumen total de lastre:	2.304	m <sup>3</sup> b
Horas mínimas diarias para tarifa de equipos		

### ACCESOS Y LASTREOS

Factor volumétrico :	1,3	
Volumen suelto:	2.995	m <sup>3</sup> s
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo :	3,0	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

### 1.1 TRANSPORTE MATERIAL:

Ciclo de vagoneta	Duración (min)
Cargado	6,9
Acarreo y regreso	24,0
Descarga y otros	3,0
	<u>33,86</u>
N° vagonetas:	4,64

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	5	21,27	106	28

### 1.2 EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	1	99	99	30
Compactadora CAT CS-563 10 TON	1	65	65	46
Cisterna para agua potable	1			15

## EXCAVACION EN SUELO

### 2.1 CORTE Y CARGADO:

#### Remoción de suelo

Factor volumétrico :	1,45	
Volumen suelto:	55.054	m <sup>3</sup> s
Vagoneta 6X4 12 M3		
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo a botadero :	2,5	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
<b>Cuando se usa retroexcavadora para corte y cargado, se pone únicamente en cargado</b>				
a) EQUIPO DE CORTE				
Excavadora PC 300		96		
b) EQUIPO DE CARGADO				
Excavadora PC 220	2	61	121	499

### 2.2 TRANSPORTE MATERIAL:

#### Ciclo de vagoneta

	Duración (min)
Cargado	11,9
Acarreo y regreso	20,0
Descarga y otros	10,0
	<u>41,85</u>
N° vagonetas:	10,06

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	10	17,20	172	400

### 2.3 EXTENDIDO Y RESERVA EN BOTADERO:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	1	156,74	156,74	386

**ESTIMACIÓN DE COSTO UNITARIO PRELIMINAR HASTA ELEVACIÓN 300,8**

**Accesos y**

**PROGRAMA DE TRABAJO**

Volumen a colocar =	2.304	m <sup>3</sup> b	
Duración total =	46	horas efectivas	7,6 días calendario
	54	horas hábiles	5,4 días hábiles

Factor hospedaje y alimentación

**JORNADA DE TRABAJO**

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

**Mano de Obra**

**Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los**

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	1	63,2	2,81	178
Coordinador de obra	1	63,2	2,81	178
Encargado de maquinaria	1	63,2	3,81	241
Auxiliar de maquinaria	1	63,2	2,23	141
Peon	2	126,5	1,98	251
Operador de maquinaria			3,14	-
SUB-TOTAL				988

**Equipos**

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Vagoneta 6X4 12 M3	5	28	25,61	721
Tractor D6	1	30	39,89	1.211
Compactadora CAT CS-563 10	1	46	31,34	1.444
Cisterna para agua	1	15	18,46	284
SUB-TOTAL				3.660

**Materiales**

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo	TOTAL
Geotextil ( 6 x 75 m	2	rollo	39	78
Lastre	2.995	m <sup>3</sup>	2,34	7.009
SUB-TOTAL				7.087

**TOTAL** \$11.734  
**COSTO UNITARIO** \$5,09

## Excavación en

### PROGRAMA DE

Volumen a excavar	37.968	m <sup>3</sup> b	
Duración total	498,6	horas efectivas	97 días calendario
	586,5	horas hábiles	69 días hábiles
			28 días de descanso

### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

## Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	3	2.052,9	2,81	5.771
Coordinador de obra civil	1	684,3	2,81	1.924
Encargado de maquinaria pesada	1	684,3	3,81	2.605
Auxiliar de maquinaria	2	1.368,6	2,23	3.046
Peon	6	4.105,8	1,98	8.138
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
SUB-TOTAL				21.483

## Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Excavadora PC			62,68	-
Excavadora PC	2	499	41,31	20.596
Vagoneta 6X4 12	10	400	25,61	10.246
Tractor D6	1	386	39,89	15.411
SUB-TOTAL				46.253

<b>TOTAL</b>	\$67.736
<b>COSTO UNITARIO</b>	\$1,78

# Apéndice 5: Memoria de cálculo: Excavación con pantalla de pilotes hasta la elevación 300,8

## MEMORIA DE CÁLCULO PARA EXCAVACION

### Características de la excavación:

Área para desmonte y limpieza:		m <sup>2</sup>
Profundidad promedio de corte en limpieza:	0,60	m
Volumen de excavación:	10.399	m <sup>3</sup> b
Altura máxima de cortes:	15	m
Cantidad de accesos para corte:	3	c/ u
Longitud media de accesos para corte:	40	m
Espesor de capa de lastre:	0,4	m
Ancho de superficie de rodamiento:	8	m
Volumen de lastre de accesos para corte:	2.304	m <sup>3</sup> b
Área a lastrear para terrazas y bermas:		m <sup>2</sup>
Espesor de capa de lastre:	0,4	m
Volumen de lastre para bermas:		m <sup>3</sup> b
Volumen total de lastre:	2.304	m <sup>3</sup> b
Horas mínimas diarias para tarifa de equipos		

### ACCESOS Y LASTREOS

Factor volumétrico :	1,3	
Volumen suelto:	2.995	m <sup>3</sup> s
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo :	3,0	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

### 2.1 TRANSPORTE MATERIAL:

<b>Ciclo de vagoneta</b>	<b>Duración (min)</b>
Cargado	6,9
Acarreo y regreso	24,0
Descarga y otros	8,0
	<u>38,86</u>
N° vagonetas:	5,33

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	6	18,53	111	27

### 2.2 EXTENDIDO Y COMPACTACIÓN:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	1	99	99	30
Compactadora CAT CS-563 10 TON	1	65	65	46
Cisterna para agua potable	1			15

## EXCAVACION EN SUELO

### 3.1 CORTE Y CARGADO:

#### Remoción de suelo

Factor volumétrico : 1,45  
 Volumen suelto: 15.079 m<sup>3</sup>s

Vagoneta 6X4 12 M3

Capacidad vagonetas : 12 m<sup>3</sup>s  
 Distancia de acarreo a botadero : 2,5 km  
 Velocidad máxima cargada : 15 km/ hr

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
<b>Cuando se usa retroexcavadora para corte y cargado, se pone únicamente en cargado</b>				
a) EQUIPO DE CORTE				
Excavadora PC 120	1	44	44	378
b) EQUIPO DE CARGADO				
Excavadora PC 300	1	72	72	229

### 3.2 TRANSPORTE MATERIAL:

#### Ciclo de vagoneta

Duración (min)  
 Cargado 10,0  
 Acarreo y regreso 20,0  
 Descarga y otros 10,0  


---

 39,96  
 N° vagonetas: 6,01

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	6	18,02	108	174

### 3.3 EXTENDIDO Y RESERVA EN BOTADERO:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	1	156,74	156,74	115

## ESTIMACIÓN DE COSTO UNITARIO

### Accesos y

#### PROGRAMA DE TRABAJO

Volumen a colocar =	2.304	m <sup>3</sup> b	
Duración total =	46	horas efectivas	7,6 días calendario
	54	horas hábiles	5,4 días hábiles

Factor hospedaje y alimentación =

#### JORNADA DE

Días naturales por	14,00	días
Días hábiles por	10,00	días
Horas efectivas por día	8,50	horas
Horas	10,00	horas
Horas	11,0	horas
Factor de horas	1,17	

### Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la maquinaria, así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los equipos.

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	1	63,2	2,81	178
Coordinador de obra civil	1	63,2	2,81	178
Encargado de maquinaria pesada	1	63,2	3,81	241
Auxiliar de maquinaria pesada	1	63,2	2,23	141
Peon	2	126,5	1,98	251
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
SUB-TOTAL				988

### Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Vagoneta 6X4 12 M3	6	27	25,61	690
Tractor D6	1	30	39,89	1.211
Compactadora CAT CS-563 10 TON	1	46	31,34	1.444
Cisterna para agua potable	1	15	18,46	284
SUB-TOTAL				3.628

### Materiales

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo unitario	TOTAL
Geotextil ( 6 x 75 m )	1	rollo	39	39
Lastre	2.995	m <sup>3</sup>	2,34	7.009
SUB-TOTAL				7.048

**TOTAL** \$11.664  
**COSTO UNITARIO** \$5,06

## Excavación en

### PROGRAMA DE

Volúmen a excavar	10.399	m <sup>3</sup> b	
Duración total	378,2	horas efectivas	73 días calendario
	445,0	horas hábiles	52 días hábiles
			21 días de descanso

### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

### Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la  
así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	3	1.557,4	2,81	4.378
Coordinador de obra civil	1	519,1	2,81	1.459
Encargado de maquinaria pesada	1	519,1	3,81	1.976
Auxiliar de maquinaria	2	1.038,3	2,23	2.311
Peon	6	3.114,8	1,98	6.174
Operador de maquinaria pesada			3,14	-
SUB-TOTAL				16.298

### Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Excavadora PC	1	378	24,51	9.270
Excavadora PC	1	229	62,68	14.384
Vagoneta 6X4 12	6	174	25,61	4.466
Tractor D6	1	115	39,89	4.605
SUB-TOTAL				32.724

<b>TOTAL</b>	\$49.022
<b>COSTO UNITARIO</b>	\$4,71

# Apéndice 6: Memoria de cálculo: Pilotes preexcavados

## 1. PERFORACIONES

Longitud de cada pilote = 18 m  
Separación entre pilotes = 0,6 m  
Perímetro de la excavación = 109 m  
Altura del talud = 15 m

Cantidad de perforaciones = 182 c/u  
Longitud total perforaciones= 3276 m

## MANO DE OBRA

Se define una cuadrilla típica, se asume un frente de perforación con jornada de 24 horas

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ día perf.)	Longitud de pilotes	Horas totales	Duración ( días )
Perforador	2	50,00	3.276	131,0	66
Auxiliar de perforación	4	50,00	3.276	262,1	66
Soldador	2	50,00	3.276	131,0	66

## EQUIPO

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ día perf.)	Longitud de pernos	Días totales
Perforadora ( Drill Tech )	1	50,00	3.276	66
Soldadora	1	50,00	3.276	66
Bomba de combustión para agua	1	50,00	3.276	66
Compresor	1	50,00	3.276	66

## 2. PILOTES

Longitud de cada pilote =	18 m
Separación entre pilotes =	0,6 m
Perímetro de la excavación =	109 m
Altura del talud =	15 m
Diámetro del pilote =	0,3 m
Cantidad de pilotes =	182 c/u
Longitud total pilotes=	3276 m
Volumen de concreto =	231,57 m <sup>3</sup>

## MANO DE OBRA

Se define una cuadrilla típica para colocación de concreto

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m <sup>3</sup> / día )	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Artesano	2	5,08	232	131,0	23
Auxiliar de artesano	2	5,08	232	131,0	23
Peon	4	5,08	232	262,1	23
Coordinador de obra civil	1	5,08	232	65,5	23
Encargado de cuadrilla	1	5,08	232	65,5	23

Se define una cuadrilla típica para colocación de acero

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( kg/ h arte.)	Cantidad de acero ( kg )	Horas totales	Duración ( días )
Artesano	12	11,50	50.219	3.418,4	61
Auxiliar de artesano	12	11,50	50.219	3.418,4	61
Peon	10	11,50	50.219	2.848,7	61
Coordinador de obra civil	1	11,50	50.219	284,9	61
Encargado de cuadrilla	2	11,50	50.219	569,7	61

## MATERIALES

Descripción	Cantidad / pilote	Longitud de pilote	Cantidad de pilotes	Cantidad total
Varilla # 6 x 6 m °60 ( ud )	18	18	182	3.276
Varilla # 3 x 6 m °60 ( ud )	10	18	182	1.871
Concreto ( m <sup>3</sup> )	1,27	18	182	232

# Apéndice 7: Memoria de cálculo: Excavación con pozo profundo hasta la elevación 300,8

## MEMORIA DE CÁLCULO PARA EXCAVACION

### Características de la excavación:

Volumen de excavación pozo piloto:	491	m <sup>3</sup> b
Altura máxima de cortes:	25	m
Volumen de excavación pozo principal:	17.181	m <sup>3</sup> b
Altura máxima de cortes:	25	m

## EXCAVACION EN SUELO

### 1. POZO PILOTO:

#### 1.1 Remoción de suelo

Factor volumétrico :	1,45	
Volumen suelo:	712	m <sup>3</sup> s
Vagoneta 6X4 12 M3		
Capacidad vagonetas :	12	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo a botadero :	2,5	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
<b>Cuando se usa retroexcavadora para corte y cargado, se pone únicamente en cargado</b>				
a) EQUIPO DE CORTE				
Excavadora PC 15	1	5	5	172
b) EQUIPO DE CARGADO				

#### 1.2 TRANSPORTE MATERIAL:

##### Ciclo de vagoneta

	Duración (min)
Cargado	157,9
Acarreo y regreso	20,0
Descarga y otros	10,0
	<u>187,89</u>
N° vagonetas:	2,00

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	2	3,83	8	116

### 1.3 EXTENDIDO Y RESERVA EN BOTADERO:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	1	156,74	156,74	5

### 2. POZO PRINCIPAL:

#### 2.1 Remoción de suelo

Factor volumétrico :	1,45	
Volumen suelto:	24.912	m <sup>3</sup> s
Vagoneta 6X4 12 M3	▼	
Capacidad vagonetas :	58	m <sup>3</sup> s
Distancia de acarreo a botadero :	2,5	km
Velocidad máxima cargada :	15	km/ hr

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
<b>Cuando se usa retroexcavadora para corte y cargado, se pone únicamente en cargado</b>				
a) EQUIPO DE CORTE				
Excavadora PC 120	1	44	44	625
b) EQUIPO DE CARGADO				

#### 2.2 TRANSPORTE MATERIAL:

<b>Ciclo de vagoneta</b>	<b>Duración (min)</b>
Cargado	80,0
Acarreo y regreso	20,0
Descarga y otros	<u>10,0</u>
	109,97
N° vagonetas:	2,00

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Vagoneta 6X4 12 M3	2	31,89	64	488

### 2.3 EXTENDIDO Y RESERVA EN BOTADERO:

Equipo	Cantidad	Rendimiento unit (m3/ h)	Rendimiento total (m3/ h)	Tiempo (hrs)
Tractor D6	1	156,74	156,74	191

## ESTIMACION DE COSTO UNITARIO PRELIMINAR

### Excavación en suelo

#### 1. POZO PILOTO :

##### PROGRAMA DE TRABAJO

Volumen a excavar =	491	m <sup>3</sup> b	
Duración total =	171,7	horas efectivas	33 días calendario
	202,0	horas hábiles	24 días hábiles
			10 días de descanso

##### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras	1,17	

#### Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la maquinaria, así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los equipos.

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	2	471,3	2,81	1.325
Coordinador de obra civil	1	235,7	2,81	662
Encargado de maquinaria pesada	1	235,7	3,81	897
Auxiliar de maquinaria pesada	1	235,7	2,23	525
Peon	1	235,7	1,98	467
SUB-TOTAL				3.876

#### Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Excavadora PC 15	1	172	22,15	3.803
Vagoneta 6X4 12 M3	2	116	25,61	2.973
Tractor D6	1	5	39,89	217
SUB-TOTAL				6.994

<b>TOTAL</b>	¢10.870
<b>COSTO UNITARIO</b>	¢22,14

## 2. POZO PRINCIPAL

### PROGRAMA DE

Volumen a excavar	17.181	m <sup>3</sup> b	
Duración total	624,9	horas efectivas	121 días calendario
	735,2	horas hábiles	86 días hábiles
			35 días de descanso

### JORNADA DE TRABAJO

Días naturales por bisemana	14,00	días
Días hábiles por bisemana	10,00	días
Horas efectivas por día laborado	8,50	horas
Horas laboradas	10,00	horas
Horas pagadas	11,0	horas
Factor de horas extras		

### Mano de Obra

Se define una cuadrilla típica que apoyará el trabajo de la así como los operadores, cuyo salario no está incluido en el costo de los

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Inspector de costos 1	2	471,3	2,81	1.325
Coordinador de obra civil	1	235,7	2,81	662
Encargado de maquinaria pesada	1	235,7	3,81	897
Auxiliar de maquinaria	1	235,7	2,23	525
Peon	2	471,3	1,98	934
SUB-TOTAL				4.343

### Equipos

Descripción	Cantidad	Horas totales	Costo / hora	TOTAL
Excavadora PC	1	625	24,51	15.316
Vagoneta 6X4 12	2	488	25,61	12.505
Tractor D6	1	191	39,89	7.608
SUB-TOTAL				35.428

<b>TOTAL</b>	\$39.771
<b>COSTO UNITARIO</b>	\$2,31

# Apéndice 8: Memoria de cálculo: Excavación pozo profundo

## POZO PILOTO

### 1. CALCULO PARA EL ANILLO DE CIMENTACIÓN

Espesor de la losa =	0,3	m
Ancho de la losa =	2,0	m
Volumen de concreto =	6,2	m <sup>3</sup>
Acero # 11 @ 0,40 m, a.d. =	15	ud de 6 m de longitud
	715	kg

### MANO DE OBRA PARA COLOCACIÓN DE ACERO

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( kg/ h op.)	Cantidad de acero	Horas totales	Duración ( días )
Coordinador de obra civil	1	21,50	715	33,3	3
Artesano	2	21,50	715	66,5	3
Auxiliar de artesano	2	21,50	715	66,5	3
Peon	2	21,50	715	66,5	3

### MANO DE OBRA PARA COLOCACIÓN DE CONCRETO

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h )	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Coordinador de obra civil	1	12,50	6	0,5	1
Artesano	1	12,50	6	0,5	1
Auxiliar de artesano	1	12,50	6	0,5	1
Peon	2	12,50	6	1,0	1

### MAQUINARIA

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales
Automezcladora	1	8,50	6	4

## EQUIPO

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Vibrador eléctrico	2	8,50	6	4	1
Compresor	1	8,50	6	4	1
Planta eléctrica	1	8,50	6	4	1
Depósito para agua y aire	1	8,50	6	4	1
Planta para concreto	1	8,50	6	4	1

## 2. CALCULO DE VIGAS PARA LOS ANILLOS DE ACERO PARA POZO PILOTO

Se colocarán anillos en los 25 m del pozo, con un diámetro de 5 m colocados @ 1m en cuatro secciones de vigas W 6 X 20 de 3,93 m de longitud cada una.

Total de anillos de 5,0 m = 25 ud

En el proceso de rolado de las vigas se pierden 0,50 m en los extremos de cada una por esta razón, de cada viga sólo se pueden sacar dos secciones para cada anillo.

Cantidad de secciones =  $25 * 4 = 100$  ud de 3,93 m de longitud

Cantidad de vigas =  $100 * 3,93 / 9 = 44$  ud de 9 m de longitud

Adicionalmente se requieren vigas para la colocación de guías para el balde de escombros y para la plataforma, además de las estructuras de apoyo.

Cantidad de vigas para guías y soporte = 43 ud de 9m de longitud

Cantidad total de viga W 6 x 20 = 87 ud de 9m de longitud

### PLETINAS DE 12 x 150 mm x 6.00 m

Se requieren dos placas por cada sección de anillo

Total de placas =  $100 * 2 = 200$  ud

Se obtienen 40 placas por cada pletina

Total de pletina para placas =  $200 / 40 = 5$  ud de 6 m de longitud

### SOLDADURA 7018 DE 4 mm

Suponiendo un consumo de 12 kg por anillo

Para anillos =  $25 * 12 = 300$  kg

Otros = 50 kg

Total = 350 kg

## CALCULO DE TENSORAS Y TUBOS DE LARGUERO

Cada anillo tiene cuatro secciones que requieren dos tensoras cada una

Total de tensoras =  $25 * 4 * 2 =$  200      Tensoras de 1.65 m

Varilla # 6

$200 * 1.65 / 6 =$  55      ud de 6 m de longitud  
10% adicional      **61**      ud de 6 m de longitud

Por consiguiente se requieren      **61**      Tubos de HN

## TORNILLOS Y TUERCAS

Cada anillo requiere 4 tornillos de 19 mm con tuerca por cada sección, y cada tensora requiere 2 tuercas de 19 mm

Cantidad de tornillos =  
 $(4 * 100 * 4) =$  1600      ud  
10% adicional      **1760**      ud

Cantidad de tuercas =  
 $1600 + 200 * 2 =$  2000      ud  
10% adicional      **2200**      ud

## LAMINA DE ADEME

Se utilizan láminas corrugadas entre cada anillo como parte del soporte temporal  
Para cada espacio entre anillos se requieren 40 láminas de 0,41 m x 1,15 m  
por lo tanto se requieren:

Lámina HO =  $24 * 40 =$  960      ud

## CUÑAS DE MADERA

Se requieren 150 cuñas por cada anillo

Cantidad de cuñas de 2" x 4" =  
 $150 * 25 =$  3750      cuñas

Cantidad de cuñas por regla de 3,35 m de longitud = 26      ud

Cantidad de reglas de 2" x 4" =  $3750 / 26 =$  144      ud  
10% adicional      **159**      ud

## POZO PRINCIPAL

### 1. CALCULO PARA EL ANILLO DE CIMENTACIÓN

Espesor de la losa =	0,5	m
Ancho de la losa =	3,0	m
Volumen de concreto =	136	m <sup>3</sup>
Acero # 11 @ 0,40 m, a.d. =	198	ud de 6 m de longitud
	9390	kg

### MANO DE OBRA PARA COLOCACIÓN DE ACERO

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( kg/ h op.)	Cantidad de acero	Horas totales	Duración ( días )
Coordinador de obra civil	1	21,50	9.390	436,7	9
Artesano	8	21,50	9.390	3.493,9	9
Auxiliar de artesano	8	21,50	9.390	3.493,9	9
Peon	4	21,50	9.390	1.746,9	9

### MANO DE OBRA PARA COLOCACIÓN DE CONCRETO

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h )	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Coordinador de obra civil	1	12,50	136	10,9	1
Artesano	2	12,50	136	21,8	1
Auxiliar de artesano	2	12,50	136	21,8	1
Peon	2	12,50	136	21,8	1

### MAQUINARIA

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h )	Volumen de concreto	Horas totales
Automezcladora	5	12,50	136	30

## EQUIPO

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h )	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Vibrador eléctrico	4	12,50	136	44	1
Compresor	1	12,50	136	11	1
Planta eléctrica	1	12,50	136	11	1
Depósito para agua y aire	1	12,50	136	11	1
Planta para concreto	1	12,50	136	11	1

## 2. CALCULO DE VIGAS PARA LOS ANILLOS DE ACERO DEL POZO PRINCIPAL

Se colocarán anillos en los 25 m del pozo, con un diámetro de 29 m colocados @ 1m. De estos, 18 ud. son en vigas W 8 x 31 y 7 ud. son de vigas W 10 x 31 en treinta y cuatro secciones de 2,68 m de longitud cada una.

### VIGA W 8 x 31

Cantidad de anillos de 29 m = 18 ud 2,75  
**91,10618695** 2,679593734 249,2022173

En el proceso de rolado de las vigas se pierden 0,50 m en los extremos de cada una por esta razón, de cada viga sólo se pueden sacar cuatro secciones para cada anillo.

Cantidad de secciones = 18 \* 34 = 612 ud de 2,68 m de longitud  
Cantidad de vigas = 612 \* 2,68 / 12 = **137** ud de 12 m de longitud

Adicionalmente se requieren vigas para la colocación de guías para el balde de escombros y para la plataforma, además de las estructuras de apoyo.

Cantidad de vigas para guías y soporte = **16** ud de 12 m de longitud

Cantidad total de viga W 8 x 31 = **153** ud de 12 m de longitud

### VIGA W 10 x 31

Cantidad de anillos de 29 m = 7 ud

En el proceso de rolado de las vigas se pierden 0,50 m en los extremos de cada una por esta razón, de cada viga sólo se pueden sacar cuatro secciones para cada anillo.

Cantidad de secciones = 7 \* 34 = 238 ud de 2,68 m de longitud  
Cantidad de vigas = 238 \* 2,68 / 12 = **53** ud de 12 m de longitud

Cantidad total de viga W 10 x 31 = **53** ud de 12 m de longitud

### PLETINAS DE 12 x 150 mm x 6.00 m

Se requieren dos placas por cada sección de anillo

Total de placas =  $(238 + 612) * 2 =$  **1700** ud

Se obtienen 40 placas por cada pletina

Total de pletina para placas =  $1700 / 40 =$  **43** ud de 6 m de longitud

### SOLDADURA 7018 DE 4 mm

Suponiendo un consumo de 20 kg por anillo

Para anillos =  $25 * 20 =$  500 kg

Otros = 75 kg

Total = **575** kg

### CALCULO DE TENSORAS Y TUBOS DE LARGUERO

Cada anillo tiene treinta y cuatro secciones que requieren dos tensoras cada una

Total de tensoras =  $25 * 34 * 2 =$  1700 Tensoras de 1.65 m

Varilla # 6

$1700 * 1.65 / 6 =$  468 ud de 6 m de longitud

10% adicional **515** ud de 6 m de longitud

Por consiguiente se requieren **515** Tubos de HN

### TORNILLOS Y TUERCAS

Cada anillo requiere 4 tornillos de 19 mm con tuerca por cada sección, y cada tensora requiere 2 tuercas de 19 mm

Cantidad de tornillos =

$(4 * 100 * 34) =$  13600 ud

10% adicional **14960** ud

Cantidad de tuercas =

$13600 + 1700 * 2 =$  17000 ud

10% adicional **18700** ud

### LAMINA DE ADEME

Se utilizan láminas corrugadas entre cada anillo como parte del soporte temporal

Para cada espacio entre anillos se requieren 230 láminas de 0,41 m x 1,15 m

por lo tanto se requieren:

Lámina HO =  $24 * 230 =$  5520 ud

## CUÑAS DE MADERA

Se requieren 210 cuñas por cada anillo

Cantidad de cuñas de 2" x 4" =  
 $210 * 25 = 5250$  cuñas

Cantidad de cuñas por regla de 3,35 m de longitud = 26 ud

Cantidad de reglas de 2" x 4" =  $5250 / 26 = 202$  ud  
10% adicional **223** ud

### 3. CALCULO DE TUBERIA

Se tienen 25 m de pozo y se estiman 400 adicionales de tubería en los patios

#### A.- TOTAL TUBOS AGUA Y AIRE

$425 / 6 = 71$  ud

Se requieren 71 tubos de 152 mm y 76 tubos de 101 mm, igual cantidad de acoples. Para los empaques se considera un 20% adicional

Cantidad de empaques = **86** ud

Se colocan tomas cada 6 m, por lo que se requieren 8 Tees en ambos diámetros además se requieren retenedores de agua en la tubería de aire, colocados cada 300 m, por lo tanto se van a necesitar dos codos para los tubos de 152 mm Adicionalmente se deben incluir otras figuras para ambas tuberías

## B.- TUBERIA BOMBEO

Se requieren tres columnas de tubos de 6" en los 25 m de pozo y 7 m adicionales en cada uno

$$(25 + 7) * 3 / 6 = \quad \quad \quad \mathbf{16} \quad \quad \quad \text{UNIDADES}$$

Cantidad de acoples =	<b>16</b>	ud
Empaques ( más 20% )	<b>19</b>	ud
Cantidad de codos 90° =	<b>9</b>	ud

Se deben incluir además los accesorios y herramientas para las máquinas y equipos este cálculo se hace, según los datos de trabajos similares anteriores.

Empaquetaduras :	1 juego cada 100 m <sup>3</sup>	7 ud
Mangueras :	1 juego cada 300 m <sup>3</sup>	3 ud
Juntas y acoples :	1 juego cada 500 m <sup>3</sup>	2 ud
Boquillas :	1 juego cada 50 m <sup>3</sup>	14 ud
Manguitos y empaques :	Mangueras * 2	6 ud
Dispositivos :	Igual cantidad que Mangueras	3 ud
Tornillos PARKER :	20 ud / Manguera cada 200 m <sup>3</sup>	20 ud

## 4. CONCRETO LANZADO

La estabilización de taludes se realizará mediante el uso de concreto lanzado, malla electrosoldada y pernos de anclaje.

Se requiere un espesor mínimo de 0,20 m de concreto lanzado ( f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup> )

Se considerará un 45 % de rebote

### CONCRETO LANZADO HASTA ELEV. 300,8

Altura = 25                      Longitud = 92                      Área = 2300,00

$$2475 * 0,2 * 1,45 = \quad \quad \quad \mathbf{667,00 \text{ m}^3}$$

**TOTAL DE CONCRETO LANZADO**                      **667,00 m<sup>3</sup>**

**MANO DE OBRA HASTA ELEV. 300,8**

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Coordinador de obra civil	1	2,50	667	266,8	16
Encargado de cuadrilla	2	2,50	667	533,6	16
Operador equipo túnel	2	2,50	667	533,6	16
Tunelero	6	2,50	667	1.600,8	16
Peon	6	2,50	667	1.600,8	16

**MAQUINARIA HASTA ELEV. 300,8**

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales
Back hoe	1	2,50	667	267
Automezcladora	2	2,50	667	534

**EQUIPO HASTA ELEV. 300,8**

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m3/ h op.)	Volumen de concreto	Horas totales	Duración ( días )
Máquina para lanzar concreto	2	2,50	667	133	16
Compresor	1	2,50	667	133	16
Planta eléctrica	1	2,50	667	133	16
Depósito para agua y aire	1	2,50	667	133	16
Bomba para agua Bibo 4	2	2,50	667	133	16
Planta para concreto	1	2,50	667	133	16

#### MALLA ELECTROSOLDADA

Área total a cubrir	2300,00 m <sup>2</sup>
Área que cubre una malla ( 2,5 x 6,0 m )	15,0 m <sup>2</sup>
Área útil que cubre una malla ( 2,3 x 5,8 )	13,34 m <sup>2</sup>
6875 / 13,34 =	172,0 ud
10 % Adicional	18 ud
<b>TOTAL =</b>	<b>190,00 ud</b>

#### MANO DE OBRA HASTA ELEV. 300,8

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m2/ h op.)	Area ( m2 )	Horas totales	Duración ( días )
Encargado de cuadrilla	1	3,67	2.300	266,8	25
Artesano	3	3,67	2.300	800,4	25
Peon	6	3,67	2.300	1.600,8	25

#### 5. PERNOS DE ANCLAJE

Para pernos de varilla # 8:

Diámetro del hueco =	50 mm
Diámetro del perno =	25,4 mm

Para pernos de varilla # 10:

Diámetro del hueco =	65 mm
Diámetro del perno =	32,3 mm

Para pernos de varilla # 11:

Diámetro del hueco =	65 mm
Diámetro del perno =	34,9 mm

#### PERNOS DE ANCLAJE HASTA ELEV. 300,8

Anclajes de varilla # 8 =	3 filas
Longitud total =	400 m

Anclajes de varilla # 10 =	8 filas
Longitud total =	2912 m

Anclajes de varilla # 11 =	10 filas
Longitud total =	3264 m

#### PARA PERNOS DE VARILLA # 8

#### MANO DE OBRA

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ h perf.)	Longitud de pernos	Horas totales	Duración ( días )
Operador equipo túnel	2	9,84	400	81,3	3
Coordinador de obra civil	1	9,84	400	40,7	3
Encargado de cuadrilla	1	9,84	400	40,7	3
Peon	5	9,84	400	203,3	3

#### EQUIPO

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ hr perf.)	Longitud de pernos	Días totales
Perforadora	2	9,84	400	3
Compresor	1	9,84	400	3

## PARA PERNOS DE VARILLA # 10

### MANO DE OBRA

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ h perf.)	Longitud de pernos	Horas totales	Duración ( días )
Operador equipo túnel	4	7,68	2.912	1.911,6	20
Coordinador de obra civil	1	7,68	2.912	477,9	20
Encargado de cuadrilla	2	7,68	2.912	955,8	20
Peon	10	7,68	2.912	4.778,9	20

### EQUIPO

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ hr perf.)	Longitud de pernos	Días totales
Perforadora	4	7,68	2.912	20
Compresor	1	7,68	2.912	20
Planta eléctrica	1	7,68	2.912	20
Bomba para lechada manual	4	7,68	2.912	20

### MATERIALES

Descripción	Cantidad/ m perforación	Longitud de pernos	Cantidad total
Varilla # 10 x 6 m °60		2.912	485
Lechada			
Cemento ( saco 50 kg )	0,23	2.912	670
Aditivo Fluidificante 3 cc por kg cemento ( litros )		2.912	100
Aditivo Expansivo 1% peso cemento ( kg )		2.912	335
Placa de anclaje 200x200x6,35 mm		2.912	174
Tuercas		2.912	174

## PARA PERNOS DE VARILLA # 11

### MANO DE OBRA

Se define una cuadrilla típica

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ h perf.)	Longitud de pernos	Horas totales	Duración ( días )
Operador equipo túnel	4	6,83	3.264	1.911,6	20
Coordinador de obra civil	1	6,83	3.264	477,9	20
Encargado de cuadrilla	2	6,83	3.264	955,8	20
Peon	10	6,83	3.264	4.778,9	20

### EQUIPO

Descripción	Cantidad	Rendimiento ( m/ hr perf.)	Longitud de pernos	Días totales
Perforadora	4	6,83	3.264	20
Compresor	1	6,83	3.264	20
Planta eléctrica	1	6,83	3.264	20
Bomba para lechada manual	4	6,83	3.264	20

### MATERIALES

Descripción	Cantidad/ m perforación	Longitud de pernos	Cantidad total
Varilla # 11 x 6 m %60		3.264	544
Lechada			
Cemento ( saco 50 kg )	0,32	3.264	1.044
Aditivo Fluidificante 3 cc por kg cemento ( litros )		3.264	157
Aditivo Expansivo 1% peso cemento ( kg )		3.264	522
Placa de anclaje 200x200x6,35 mm		3.264	340
Tuercas		3.264	340

### LONGITUD TOTAL DE PERNOS

Varilla # 8 =	400	m
Varilla # 10 =	2.912	m
Varilla # 11 =	3.264	m

## 6. VENTILACIÓN

Se estima el uso de ventiladores Korfmann para la ventilación del pozo con un ducto de 76 cm

Cantidad de ducto =  $25 * 1 * 1.1 =$  **28** m

Como el ducto tiene 20 m de longitud, se requiere 1 acople  
Además se requieren 30 m de cable para ducto de 9,52 mm para la línea de ventilación y gazas prensacable se necesitan 4 unidades cada 20 m.

Cantidad de gazas = **6** ud

## 7. CALCULO DE MANGUERAS Y LLAVES DE PASO

### LLAVES DE TENSION PARA AGUA Y AIRE DE 25 mm

Profundidad de la excavación =  $25 / 20 =$  **1** cambio  
Cantidad de llaves =  $1 * 8 =$  **8** unidades

Se supone la misma cantidad de manguera para agua y aire

$(25 + 50) * 2 =$  **150** m  
Se supone un 15 % adicional **172,5** m

Total  
Manguera para agua 19 mm **172,5** m  
Manguera para aire 25 mm **172,5** m

$(25 + 50) * 2 =$  **150** m  
Se supone un 15 % adicional **172,5** m

Total  
Manguera para agua 50 mm **172,5** m  
Manguera para aire 76 mm **172,5** m

### ACOPLES

Para mangueras de 19 mm y 25 mm se utilizará un rendimineto de 2 acoples por cada 10 m de longitud. Se incluye un 15% adicional

Para manguera de 19 mm = **20** unidades  
Para manguera de 25 mm = **20** unidades

## 8. CALCULO DE CINTA BAND IT

Como no se tiene un registro exacto del consumo de este material se utiliza un valor según los registros de trabajos similares realizados anteriormente

Cinta BAND IT de 12.7 mm de 30 m **3** unidades  
Cinta BAND IT de 19.05 mm de 30 m **3** unidades

## Apéndice 9: Programa de trabajo: Excavación con bermas y taludes

Id	Nombre de tarea	Cantidad	Unidad	Duración	Comienzo	Fin	1ª Mitad		2ª Mitad		1ª Mitad		2ª Mitad		1ª Mitad	
							tri 1	tri 2	tri 3	tri 4	tri 1	tri 2	tri 3	tri 4	tri 1	tri 2
0	<b>Opción 1: Excavación con bermas y talu</b>	<b>414094</b>	<b>m3</b>	<b>448 días</b>	<b>lu 06/01/03</b>	<b>mi 22/09/04</b>										
1	Desmonte y limpieza	14455	m3	36 días	lu 06/01/03	lu 24/02/03										
2	Camino de acceso	43587	m3	70 días	lu 20/01/03	vi 25/04/03										
3	Instalaciones provisionales	250	m2	20 días	lu 28/04/03	vi 23/05/03										
4	Topografía	1	gbl	10 días	ma 25/02/03	lu 10/03/03										
5	Excavación hasta elev. 325	129798	m3	127 días	ma 11/03/03	mi 03/09/03										
6	Lastreo de berma elev. 325	2592	m3	6 días	mi 27/08/03	mi 03/09/03										
7	Concreto lanzado en taludes elev. 325	377	m2	32 días	ma 06/05/03	mi 18/06/03										
8	Pernos de anclaje elev. 325	5625	m	35 días	ma 20/05/03	lu 07/07/03										
9	Cunetas elev. 325			22 días	ju 04/09/03	vi 03/10/03										
10	Topografía	1	gbl	5 días	ju 04/09/03	mi 10/09/03										
11	Excavación hasta elev. 315	144699	m3	142 días	ju 11/09/03	vi 26/03/04										
12	Lastreo de berma elev. 315	3086	m3	6 días	vi 19/03/04	vi 26/03/04										
13	Concreto lanzado en taludes elev. 315	899	m2	60 días	ju 06/11/03	mi 28/01/04										
14	Pernos de anclaje elev. 315	5940	m	50 días	ju 27/11/03	mi 04/02/04										
15	Cunetas elev. 315			45 días	lu 29/03/04	vi 28/05/04										
16	Topografía	1	gbl	5 días	lu 29/03/04	vi 02/04/04										
17	Excavación elev. 300,8	37968	m3	75 días	lu 05/04/04	vi 16/07/04										
18	Concreto lanzado elev. 300,8	718	m2	52 días	lu 12/04/04	ma 22/06/04										
19	Pernos de anclaje elev. 300,8	5670	m	62 días	lu 19/04/04	ma 13/07/04										
20	Cunetas elev. 300,8			48 días	lu 19/07/04	mi 22/09/04										

## Apéndice 10: Programa de trabajo: Excavación con pantalla de pilotes

Id	Nombre de tarea	Cantidad	Unidad	Duración	Comienzo	Fin	1ª Mitad		2ª Mitad		1ª Mitad		2ª Mitad		1ª M	
							tri 1	tri 2	tri 3	tri 4	tri 1	tri 2	tri 3	tri 4	tri 1	
0	<b>Opción 2: Excavación con pantalla de pilote</b>	<b>342938</b>	<b>m3</b>	<b>509 días</b>	<b>lu 06/01/03</b>	<b>ju 16/12/04</b>										
1	Desmonte y limpieza	24092	m3	36 días	lu 06/01/03	lu 24/02/03										
2	Camino de acceso	43587	m3	70 días	lu 20/01/03	vi 25/04/03										
3	Instalaciones provisionales	250	m2	20 días	lu 28/04/03	vi 23/05/03										
4	Topografía	1	gbl	10 días	ma 25/02/03	lu 10/03/03										
5	Excavación hasta elev. 325	129798	m3	127 días	ma 11/03/03	mi 03/09/03										
6	Lastreo de berma elev. 325	2592	m3	6 días	mi 27/08/03	mi 03/09/03										
7	Concreto lanzado en taludes elev. 325	377	m3	32 días	ma 06/05/03	mi 18/06/03										
8	Pernos de anclaje elev. 325	5625	m	60 días	ju 19/06/03	mi 10/09/03										
9	Cunetas elev. 325			22 días	ju 04/09/03	vi 03/10/03										
10	Topografía	1	gbl	5 días	ju 04/09/03	mi 10/09/03										
11	Excavación hasta elev. 315	144699	m3	142 días	ju 11/09/03	vi 26/03/04										
12	Lastreo de berma hasta elev. 315	3086	m3	6 días	lu 29/03/04	lu 05/04/04										
13	Concreto lanzado en taludes elev. 315	899	m3	63 días	ju 06/11/03	lu 02/02/04										
14	Pernos de anclaje elev. 315	5940	m	50 días	ma 03/02/04	lu 12/04/04										
15	Cunetas elev. 315			45 días	ma 06/04/04	lu 07/06/04										
16	Topografía	1	gbl	5 días	ma 06/04/04	lu 12/04/04										
17	Perforación para pilotes	3276	m	70 días	ma 13/04/04	lu 19/07/04										
18	<b>Pilotes preexcavados</b>	<b>3276</b>	<b>m</b>	<b>71 días</b>	<b>ju 15/04/04</b>	<b>ju 22/07/04</b>										
21	Topografía	1	gbl	5 días	ma 27/07/04	lu 02/08/04										
22	Excavación hasta elev. 300,8	10399	m3	55 días	ma 03/08/04	lu 18/10/04										
23	Concreto lanzado en taludes elev. 300,8	474	m3	53 días	ma 10/08/04	ju 21/10/04										
24	Pernos de anclaje elev. 300,8	14300	m	88 días	ma 17/08/04	ju 16/12/04										
25	Cunetas elev. 300,8			15 días	vi 22/10/04	ju 11/11/04										

## Apéndice 11: Programa de trabajo: Excavación con pozo profundo

Id	Nombre de tarea	Cantidad	Unidad	Duración	Comienzo	1er trimestre			2º trimestre			3er trimestre			4º trimestre			
						ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	
0	<b>Opción 3: Excavación con pozo profund</b>	<b>320245</b>	<b>m3</b>	<b>249 días</b>	<b>lu 06/01/03</b>													
1	Desmonte y limpieza	17804	m3	15 días	lu 06/01/03													
2	Camino de acceso	41338	m3	70 días	lu 20/01/03													
3	Instalaciones provisionales	250	m2	20 días	lu 28/04/03													
4	Topografía	1	gbl	10 días	lu 27/01/03													
5	Excavación hasta elev. 325	123525	m3	125 días	lu 10/02/03													
6	Lastreo de berma elev. 325	2592	m3	6 días	vi 25/07/03													
7	Concreto lanzado en taludes elev. 325	377	m3	32 días	lu 07/04/03													
8	Pernos de anclaje elev. 325	5625	m	60 días	lu 28/04/03													
9	Cunetas elev. 325			22 días	lu 04/08/03													
10	Topografía	1	gbl	5 días	lu 04/08/03													
11	<b>Pozo piloto</b>			<b>24 días</b>	<b>lu 11/08/03</b>													
12	Construcción anillo de cimentación	6	m3	7 días	lu 11/08/03													
13	Excavación	491	m3	15 días	mi 20/08/03													
14	Colocación de anillos	25	cu	15 días	vi 22/08/03													
15	<b>Pozo principal</b>			<b>60 días</b>	<b>vi 12/09/03</b>													
16	Construcción de anillo de cimentación	136	m3	15 días	vi 12/09/03													
17	Excavación pozo principal	17181	m3	45 días	vi 03/10/03													
18	Colocación de anillos	25	cu	25 días	vi 10/10/03													
19	Concreto lanzado	667	m3	22 días	vi 10/10/03													
20	Pernos de anclaje	6576	m	25 días	vi 17/10/03													
21	Desmantelamiento y traslados		gbl	20 días	vi 21/11/03													

## Apéndice 12: Presupuesto y recursos: Excavación con bermas y taludes

### PRESUPUESTO DETALLADO

ITEM	COSTO	COSTO TOTAL
	(\$)	(\$)
<b>OPCIÓN 1 EXCAVACIÓN - CASA DE MÁQUINAS</b>		
Maquinaria	419.141	
Mano de obra	810.286	
Equipo menor	103.833	
Materiales	385.312	
Herramientas	21.952	
Ordenes de trabajo	15.000	
Transporte	14.988	
<b>Total Costos Directos</b>		<b>1.770.512</b>
<b>Costos Indirectos</b>		
Vacaciones	22.688	
Incapacidades	16.206	
Alimentación	44.263	
Hospedaje	26.558	
Seguridad Ocupacional y Dispensario	10.623	
Programa ambiental	2.656	
Laboratorio de materiales y Control de Calidad	5.312	
Gastos Administrativos	265.577	
<b>Total Costos Indirectos</b>		<b>393.881</b>
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>2.164.393</b>

## Apéndice 13: Presupuesto y recursos: Excavación con pantalla de pilotes

### PRESUPUESTO DETALLADO

ITEM	COSTO	COSTO TOTAL
	(\$)	(\$)
<b>OPCIÓN 2 EXCAVACIÓN - CASA DE MÁQUINAS</b>		
Maquinaria	538.879	
Mano de obra	925.485	
Equipo menor	107.756	
Materiales	481.611	
Herramientas	30.410	
Ordenes de trabajo	15.000	
Transporte	21.649	
<b>Total Costos Directos</b>		<b>2.120.790</b>
<b>Costos Indirectos</b>		
Vacaciones	25.914	
Incapacidades	18.510	
Alimentación	53.020	
Hospedaje	31.812	
Seguridad Ocupacional y Dispensario	12.725	
Programa ambiental	3.181	
Laboratorio de materiales y Control de Calidad	6.362	
Gastos Administrativos	318.118	
<b>Total Costos Indirectos</b>		<b>469.642</b>
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>2.590.432</b>

## Apéndice 14: Presupuesto y recursos: Excavación con pozo profundo

### PRESUPUESTO DETALLADO

ITEM	COSTO	COSTO TOTAL
	(\$)	(\$)
<b>OPCIÓN 3 EXCAVACIÓN - CASA DE MÁQUINAS</b>		
<b>Costos Directos</b>		
Maquinaria	212.711	
Mano de obra	594.140	
Equipo menor	71.370	
Materiales	521.545	
Herramientas	16.269	
Ordenes de trabajo	30.000	
Transporte	14.988	
<b>Total Costos Directos</b>		<b>1.461.022</b>
<b>Costos Indirectos</b>		
Vacaciones	16.636	
Incapacidades	11.883	
Alimentación	36.526	
Hospedaje	21.915	
Seguridad Ocupacional y Dispensario	8.766	
Programa ambiental	2.192	
Laboratorio de materiales y Control de Calidad	4.383	
Gastos Administrativos	219.153	
<b>Total Costos Indirectos</b>		<b>321.454</b>
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>1.782.476</b>

# Apéndice 15: Maquinaria y equipo

Para realizar los trabajos de las diferentes opciones se recomiendan diversas máquinas y equipos que se

describen a continuación. Con estos se realizaron los cálculos para costos y duración de cada una de las actividades.

## Maquinaria para excavación

Excavadora PC 15 :

Marca: Komatsu

Potencia: 20 HP

Rendimiento teórico: según condiciones, ej.:

### CALCULO DE RENDIMIENTO DE EXCAVADORAS CORTANDO

Seleccione el tipo de excavadora

Seleccione el tamaño del cucharón

CONDICIONES DE TRABAJO	
- <b>FACIL</b> :	tierra sin compactar, arena, grava, despeje de zanjas. Profund < 40% máx capac. Ángulo de giro < 30 °. Descarga en un montón o en camión en la excavación Sin obstrucciones, buen operador.
- <b>MEDIANA</b> :	tierra compactada, arcilla seca y tenaz, suelo con menos de 25% rocas. Profund < 50% máx capac. Ángulo de giro < 60 °. Descarga en lugar amplio. Pocos obstáculos.
- <b>MEDIA A DURA</b> :	tierra compactada dura con menos de 50% rocas. Profund < 70% máx capac. Ángulo de giro < 90 °. Descarga en camiones cerca de la excavadora. Algunos obstáculos.
- <b>DURA</b> :	rocas de voladura o tierra compactada dura con hasta 75% rocas. Profund < 90% máx capac. Ángulo giro < 120 °. Zanja entibada. Área pequeña de descarga. Operación encima de trabajadores.
- <b>MUY DIFÍCIL</b> :	arenisca, caliche. Profund > 90% de máx capac. Ángulo giro > 120° Profund < 90% máx capac. Ángulo giro < 120 °. Zanja entibada. Área pequeña de descarga. Operación encima de trabajadores.

Seleccione tipo de condición de trabajo

Seleccione tipo de material

Tiempo efectivo  min/hora

PRODUCCION NETA (suelto)  m<sup>3</sup>/ h

Excavador	Capacidad del cuchar		
Excavadora PC 15	0,003	0,035	0,040
Excavadora PC 220	0,72	1,00	1,14
Excavadora PC 300	0,52	1,14	1,32
Excavadora PC 400	1,30	1,59	1,80

Excavador	Ciclo mínimo según c		
	a	b	c
Excavadora PC 15	8,0	11,5	14,5
Excavadora PC 220	12,0	15,0	18,0
Excavadora PC 300	15,0	17,5	23,0
Excavadora PC 400	16,5	22,0	28,5

Excavador	Ciclo máximo según c		
	a	b	c
Excavadora PC 15	17,5	20,5	25,0
Excavadora PC 220	21,0	24,0	28,5
Excavadora PC 300	22,5	29,0	31,0
Excavadora PC 400	28,0	24,5	34,5

cucharón	Parámetros activos	
	Ciclo min	Ciclo máx
0,00	14,5	25,0
0,04	18,0	28,5
0,04	23,0	31,0
0,05	28,5	34,5
0,06		

Factor de acarreo cucharón

Suelos o agregados húmedos	1,08
Arena y grava	0,99
Arcilla dura y tenaz	0,88
Rocas voladura bien fragmentadas	0,72
Rocas voladura mal fragmentadas	0,52

Excavadora PC 120 :  
 Marca: Komatsu  
 Potencia: 100 HP  
 Rendimiento teórico: según condiciones, ej.:

**CALCULO DE RENDIMIENTO DE EXCAVADORAS CORTANDO**

Seleccione el tipo de excavadora  ▼

Seleccione el tamaño del cucharón  ▼

CONDICIONES DE TRABAJO	
-FACIL :	tierra sin compactar, arena, grava, despeje de zanjas. Profund < 40% máx capac. Ángulo de giro < 30°. Descarga en un montón o en camión en la excavación Sin obstrucciones, buen operador.
-MEDIANA :	tierra compactada, arcilla seca y tenaz, suelo con menos de 25% rocas. Profund < 50% máx capac. Ángulo de giro < 60°. Descarga en lugar amplio. Pocos obstáculos.
-MEDIA A DURA :	tierra compactada dura con menos de 50% rocas. Profund < 70% máx capac. Ángulo de giro < 90°. Descarga en camiones cerca de la excavadora. Algunos obstáculos.
- DURA :	rocas de voladura o tierra compactada dura con hasta 75% rocas. Profund < 90% máx capac. Ángulo giro < 120°. Zanja entibada. Área pequeña de descarga. Operación encima de trabajadores.
- MUY DIFÍCIL :	arenisca, caliche. Profund > 90% de máx capac. Ángulo giro > 120° Profund < 90% máx capac. Ángulo giro < 120°. Zanja entibada. Área pequeña de descarga. Operación encima de trabajadores.

Seleccione tipo de condición de trabajo  ▼

Seleccione tipo de material  ▼

Tiempo efectivo **40** min/hora

PRODUCCION NETA (suelto)  m<sup>3</sup>/ h

Excavad	Capacidad del cuchar		
	a	b	c
Excavadora PC 120	0,35	0,53	0,75
Excavadora PC 220	0,72	1,00	1,14
Excavadora PC 300	0,52	1,14	1,32
Excavadora PC 400	1,30	1,59	1,80

Excavad	Ciclo mínimo según c		
	a	b	c
Excavadora PC 120	8,0	11,5	14,5
Excavadora PC 220	12,0	15,0	18,0
Excavadora PC 300	15,0	17,5	23,0
Excavadora PC 400	16,5	22,0	28,5

Excavad	Ciclo máximo según c		
	a	b	c
Excavadora PC 120	17,5	20,5	25,0
Excavadora PC 220	21,0	24,0	28,5
Excavadora PC 300	22,5	29,0	31,0
Excavadora PC 400	28,0	24,5	34,5

Parámetros activos		
cucharón	Ciclo mín	Ciclo máx
0,35	23,0	34,0
0,53	28,5	42,0
0,75	35,0	48,5
0,87	41,0	56,0
0,96		

Factor de acarreo cucharón

Suelos o agregados húmedos	1,05
Arena y grava	0,98
Arcilla dura y tenaz	0,85
Rocas voladura bien fragmentadas	0,68
Rocas voladura mal fragmentadas	0,45

Excavadora PC 220 :  
 Marca: Komatsu  
 Potencia: 158 HP  
 Rendimiento teórico: según condiciones, ej.:

**CALCULO DE RENDIMIENTO DE EXCAVADORAS CARGANDO**

Seleccione el tipo de excavadora Excavadora PC 220 ▼

Seleccione el tamaño del cucharón 1,14 ▼

CONDICIONES DE TRABAJO	
- <b>FACIL</b> :	tierra sin compactar, arena, grava, despeje de zanjas. Profund < 40% máx capac. Ángulo de giro < 30 °. Descarga en un montón o en camión en la excavación Sin obstrucciones, buen operador.
- <b>MEDIANA</b> :	tierra compactada, arcilla seca y tenaz, suelo con menos de 25% rocas. Profund < 50% máx capac. Ángulo de giro < 60 °. Descarga en lugar amplio. Pocos obstáculos.
- <b>MEDIA A DURA</b> :	tierra compactada dura con menos de 50% rocas. Profund < 70% máx capac. Ángulo de giro < 90 °. Descarga en camiones cerca de la excavadora. Algunos obstáculos.
- <b>DURA</b> :	rocas de voladura o tierra compactada dura con hasta 75% rocas. Profund < 90% máx capac. Ángulo giro < 120 °. Zanja entibada. Área pequeña de descarga. Operación encima de trabajadores.
- <b>MUY DIFÍCIL</b> :	arenisca, caliche. Profund > 90% de máx capac. Ángulo giro > 120° Profund < 90% máx capac. Ángulo giro < 120 °. Zanja entibada. Área pequeña de descarga. Operación encima de trabajadores.

Seleccione tipo de condición de trabajo c-Mediana a dura ▼

Seleccione tipo de material Arcilla dura y tenaz ▼

Tiempo efectivo 40 min/hora

**PRODUCCION NETA (suelto)** 75 m3/ h

Excavad	Capacidad del cuchar		
Excavadora PC 200	0,50	0,80	0,93
Excavadora PC 220	0,72	1,00	1,14
Excavadora PC 300	0,52	1,14	1,32
Excavadora PC 400	1,30	1,59	1,80

Excavad	Ciclo mínimo según c		
	a	b	c
Excavadora PC 200	10,0	13,5	16,5
Excavadora PC 220	12,0	15,0	18,0
Excavadora PC 300	15,0	17,5	23,0
Excavadora PC 400	16,5	22,0	28,5

Excavad	Ciclo máximo según c		
	a	b	c
Excavadora PC 200	19,5	22,5	27,0
Excavadora PC 220	21,0	24,0	28,5
Excavadora PC 300	22,5	29,0	31,0
Excavadora PC 400	28,0	24,5	34,5

cucharón	Parámetros activos	
	Ciclo mín	Ciclo máx
0,72	16,5	27,0
1,00	18,0	28,5
1,14	23,0	31,0
1,26	28,5	34,5
1,32		

Factor de acarreo cucharón

Suelos o agregados húmedos	1,08
Arena y grava	0,99
Arcilla dura y tenaz	0,88
Rocas voladura bien fragmentadas	0,72
Rocas voladura mal fragmentadas	0,52

Excavadora PC 300 :  
 Marca: Komatsu  
 Potencia: 230 HP  
 Rendimiento teórico: según condiciones, ej.:

**CALCULO DE RENDIMIENTO DE EXCAVADORAS CARGANDO**

Seleccione el tipo de excavadora

Seleccione el tamaño del cucharón

CONDICIONES DE TRABAJO	
-FACIL :	tierra sin compactar, arena, grava, despeje de zarzales. Profund < 40% máx capac. Ángulo de giro < 30 °. Descarga en un montón o en camión en la excavación Sin obstrucciones, buen operador.
-MEDIANA :	tierra compactada, arcilla seca y tenaz, suelo con menos de 25% rocas. Profund < 50% máx capac. Ángulo de giro < 60 °. Descarga en lugar amplio. Pocos obstáculos.
-MEDIA A DURA :	tierra compactada dura con menos de 50% rocas. Profund < 70% máx capac. Ángulo de giro < 90 °. Descarga en camiones cerca de la excavadora. Algunos obstáculos.
- DURA :	rocas de voladura o tierra compactada dura con hasta 75% rocas. Profund < 90% máx capac. Ángulo giro < 120 °. Zanja entibada. Área pequeña de descarga. Operación encima de trabajadores.
- MUY DIFÍCIL :	arenisca, caliche. Profund > 90% de máx capac. Ángulo giro > 120° Profund < 90% máx capac. Ángulo giro < 120 °. Zanja entibada. Área pequeña de descarga. Operación encima de trabajadores.

Seleccione tipo de condición de trabajo

Seleccione tipo de material

Tiempo efectivo **40** min/hora

PRODUCCION NETA (suelto) **96** m<sup>3</sup>/ h

Excavador	Capacidad del cuchar		
	a	b	c
Excavadora PC 200	0,50	0,80	0,93
Excavadora PC 220	0,72	1,00	1,14
Excavadora PC 300	0,52	1,14	1,32
Excavadora PC 400	1,30	1,59	1,80

Excavador	Ciclo mínimo según c		
	a	b	c
Excavadora PC 200	10,0	13,5	16,5
Excavadora PC 220	12,0	15,0	18,0
Excavadora PC 300	15,0	17,5	23,0
Excavadora PC 400	16,5	22,0	28,5

Excavador	Ciclo máximo según c		
	a	b	c
Excavadora PC 200	19,5	22,5	27,0
Excavadora PC 220	21,0	24,0	28,5
Excavadora PC 300	22,5	29,0	31,0
Excavadora PC 400	28,0	24,5	34,5

Parámetros activos		
cucharón	Ciclo mín	Ciclo máx
0,52	16,5	27,0
1,14	18,0	28,5
1,32	23,0	31,0
1,60	28,5	34,5
1,80		

Factor de acarreo cucharón

Suelos o agregados húmedos	1,05
Arena y grava	0,98
Arcilla dura y tenaz	0,85
Rocas voladura bien fragmentadas	0,68
Rocas voladura mal fragmentadas	0,45

Vagoneta :  
 Marca: Mack  
 Potencia: 186 KW  
 Capacidad: 12 m<sup>3</sup>

Tractor D6 :

Marca: Komatsu

Potencia:

Rendimiento teórico: según condiciones, ej.:

### CALCULO DE RENDIMIENTO DE TRACTORES EN DESMONTE Y BOTADERO

Rendimiento bruto (m3/h)

Tipo de Tractor	Distancia de acarreo (mts)					
	15	30	45	60	75	90
Tractor D5	330	210	130	90	75	45
Tractor D6	390	270	170	140	125	110
Tractor D7	980	530	370	270	240	130
Tractor D8	1210	730	510	400	300	240
Tractor D9	1530	900	670	510	420	350
Tractor D10	2150	1290	940	750	590	500
Tractor D11	2690	2030	1450	1100	900	750

Escoja el tipo de tractor

Tractor D6



Distancia de acarreo promedio (m)

30



Producción bruta =

270 m3/hr

Pendiente (-30%<m<30%) =

10%

Eficiencia del trabajo =

45 min/hora

Escoja tipo de operador

- Excelente
- Bueno
- Malo

Escoja tipo de material

- Suelto y amontonado
- Difícil de empujar pegajoso
- Rocas desgarradas-voladura
- Difícil de cortar

Visibilidad

- Buena
- Mala

Producción neta (suelto)

**157** m3/h

Back hoe:

Marca: John Deere

Modelo: 410 C

Potencia: 56 KW

Grúa móvil P&H:

Capacidad de carga máxima: 70 ton

Malacate:

Marca: Rexnord  
Modelo: 7030-1362  
Potencia: 150 HP

Malacate:

Marca: Kawasaki  
Modelo: WL-218  
Potencia: 55 KW  
Capacidad de carga: 20 ton

## **Maquinaria y equipo para concreto lanzado**

Automezcladora :

Marca: Iveco  
Modelo: HTM704-S  
Capacidad trompo: 6 - 7 m<sup>3</sup>

Back hoe:

Marca: John Deere  
Modelo: 410 C  
Potencia: 56 KW

Máquina para lanzar concreto :

Marca: Aliva  
Modelo: Duplo 285  
Consumo de aire: 12 – 20 m<sup>3</sup>  
Alcance: 30 m horizontales en vía húmeda  
300 m en vía seca

Robo - Jet :

Marca del camión: Dieci S 341  
Marca de la lanzadora de concreto: Aliva 285  
Capacidad teórica: 9 – 21 m<sup>3</sup>

Compresor :

Marca: Ingersoll Rand  
Modelo: SSR-1 200 H  
Capacidad: 33.89 m<sup>3</sup>  
Potencia: 313 HP

## **Equipo para pernos de anclaje**

Máquina perforadora neumática :

Marca: Furukawa con empujador

Modelo: D77L

Consumo: 3.8 m<sup>3</sup>/min

Compresor :

Marca: Ingersoll Rand

Modelo: SSR-1 200 H

Capacidad: 33.89 m<sup>3</sup>

Potencia: 313 HP

Jumbo:

Marca: Atlas Copco

Modelo: Boomer 353

Capacidad de impacto: 15 KW

# Anexos

## Anexo 1: Fotografías



Trabajos de Limpieza y Desmonte



Trabajos de Topografía

### Construcción de Camino de Acceso





Inicio de Excavación

Colocación de Concreto Lanzado





Perforaciones para Pernos Pasivos

Perforaciones para Pilotes Preexcavados





Excavación del Pozo Piloto

Excavación del Pozo Principal



# Referencias

- Campos García, Diego. 1998. **RENDIMIENTOS OBTENIDOS DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS EN LA EXCAVACIÓN TÚNEL 2 BOCA 2.** ICE P. H. Angostura, Sistema Constructivo.
- García Fonseca, Antonio. 2002. **INFORME DE PERFORACIONES EN ESTACIÓN TERRENA GUATUSO.** ICE P. H. Peñas Blancas, Área de Perforación e Inyección.
- Juárez Badillo, Eulalio, 1984. **MECÁNICA DE SUELOS.** México, Editorial LIMUSA.
- KOMATSU. 2000. **SPECIFICATIONS AND APPLICATION HANDBOOK,** 21 ed.
- Retana Zúñiga, Luis Fernando. 2002. **INFORME DE GEOLOGÍA Y GEOTECNIA PARA LA CASA DE MÁQUINAS DEL P. H. PIRRÍS.** ICE Área de Ingeniería y Geotecnia.
- Solís Barboza, Alexander. 2000. **INFORME FINAL: EXCAVACIÓN DEL TANQUE DE OSCILACIÓN Y RELLENO DEL BLINDAJE DEL TANQUE,** ICE P. H. Angostura, Sistema Constructivo.
- Sowers, George. 1978. **INTRODUCCIÓN A LA MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES.** México, Editorial LIMUSA.

Con la finalidad de realizar un estudio comparativo de costos de tres diferentes opciones de excavación para la Casa de Máquinas del P. H. Pirrís, se presenta este documento donde se muestran la programación, asignación de recursos y materiales además de una descripción del proceso constructivo para cada opción.