



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN

**OBTENCIÓN, DESCRIPCIÓN, COLOCACIÓN Y USO DE
MATERIALES GRANULARES PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE LA CORTINA, DE LA PRESA
HIDROELÉCTRICA LA YESCA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

ROJAS RODRÍGUEZ ALDO SALVADOR

DIRECTOR: M. EN I. PATROCINIO ARROYO HERNÁNDEZ

San Juan de Aragón, Edo. de México 2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Dedicatorias.

A mi madre Elsa María Rodríguez Sánchez.

Por ser una persona maravillosa en mi vida, por todo ese amor que siempre me has dado, la confianza que siempre has tenido en mí y por apoyarme en cada locura que he tenido a lo largo de mi vida. Gracias madre, te quiero mucho.

A mi padre Félix Rojas Chávez.

Por todos los consejos, el amor, la paciencia y por darme las herramientas que necesite a lo largo de este camino, por que siempre viste la manera de que no me faltara nada. Gracias padre, te quiero mucho.

A mi hermana Alma Delia.

Por ser mí guía, mi cómplice, por siempre estar ahí cuando necesitaba que alguien me escuchara, tus regaños y consejos siempre me los diste en el momento que los necesitaba y por nunca negarme lo que te pedía. Gracias hermana, te quiero mucho.

A mi hermana Sandra Montserrat.

Por lo momentos que me diste, las travesuras y tus berrinches. Gracias hermana te quiero mucho.

A Polly.

Por tu infinito amor, tu apoyo, por creer en mi y mis locuras, por que siempre me has dado todo sin pedirme nada a cambio, por que siempre has sido una persona que me escucho, por eso y mil cosas más. Gracias Polly te quiero mucho.

A mi familia.

Dedico este trabajo a mis abuelitos Nicolás, Delia, Malena y Salvador por todo el cariño, amor y apoyo que me han brindado y me siguen dando, a mis tíos, mis padrinos, mis primos, sobrinos a todos gracias.



Agradecimientos.

A Dios.

Por la maravillosa vida que me ha dado.

A San Judas Tadeo.

Gran parte de los milagros que he tenido en esta vida se los debo a el.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Aragón.

Por todos los conocimientos y grandes momentos que me han dado, por ser mi segundo hogar y dejarme ser un puma mas.

A mis amigos.

Gretel, Erika y Adrián.

Por ser parte de uno de los momentos mas gratificantes de mi vida, por haber sido mi familia durante 6 meses.

Gretel: Gracias por todo tu apoyo ya que una buena parte de lo que conseguí durante mi carrera universitaria fue por ti ya sabes que te quiero de aquí a la Yesca.

Erika: Gracias Concretos por que durante este poco tiempo de conocerte me ayudaste, apoyaste y reímos como si tuviéramos años de conocernos te quiero.

Adrián: Gracias por que en la Yesca termine de conocerte y supe que tengo un buen amigo a mi lado eres la banda.

A mis compadres Alexandro y Humberto y al resto de la banda borracha.

Por que iniciamos esto juntos, por ser parte de mi vida, ya que gracias a ustedes y sus desmanes este camino fue más ligero.

A mis carnales Carlos, Javier, Cantero y Mario.

Por que siempre han estado en los momentos más difíciles cuando necesitaba que alguien me escuchara o simplemente por el placer de divertirme.

A Indra

Gracias por todo amiga.....te quiero.

A todas las personas con las que he convivido a lo largo de mi formación personal.



A Fundación ICA.

Por darme la oportunidad de aprender y dejarme ser parte de una gran empresa Mexicana.

A la Coordinación de Control de Calidad en La Yesca.

Quiero agradecer al Ingeniero Ibou por la confianza y las facilidades que me dio para desarrollarme dentro de mi trabajo y a todo el personal de la coordinación, Ramón, Yuri, Sandra, Edith, Ernesto, Gerardo, Olivia, Francisco, María, Rocío, Alberto, Yesenia, Candelario, Carlos, Felipe, Verónica, Fabián, Caloca e Isabel por todas las enseñanzas que me dejaron durante 6 meses por que durante ese tiempo logre conocerme como una mejor persona y eso fue gracias a ustedes.

Al personal del P.H. La yesca.

Por su ayuda y amistad.

Al M. en I. Patrocinio Arroyo Hernández.

Gracias por ser la persona que me guío y me ayudo a darle forma a este proyecto.



ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS.	7
ÍNDICE DE FIGURAS.	8
INTRODUCCIÓN.	9
OBJETIVO.	11
ALCANCES.	11
I.- ASPECTOS GENERALES.	13
1.1 Antecedentes.	13
1.2 Características geográficas del sitio.	15
1.3 Características geológicas de la región.	17
1.4 Obras principales.	19
II.- DESCRIPCIÓN, OBTENCIÓN Y PRUEBAS DE LABORATORIO.	27
2.1 Materiales para cortina descripción.	27
2.2 Obtención de materiales para cortina.	30
2.2.1 Plan para la obtención y transporte de los materiales.	30
2.2.2 Preparación de bancos.	30
2.2.2.1 Procedimiento para desmonte y despalme.	30
2.2.3 Material de aluvión.	33
2.2.3.1 Procedimiento constructivo de la explotación de bancos de aluvión, acarreo y almacenamiento	34
2.2.4 Plantas de trituración.	42
2.2.4.1 Procedimiento para la obtención de agregados para la producción de concretos y filtros para la cortina (material 2, 2F y F).	43
2.2.4.2 Producción de filtros para la cortina: material 2, 2F y F.	48
2.2.4.3 Procedimiento para la estabilización de materiales para filtros (material 2, 2F y F).	50
2.2.5 Material de enrocamiento.	53
2.2.5.1 Procedimientos para excavaciones a cielo abierto.	54
2.2.5.2 Plantas de procesamiento de materiales 3B, T y 3C para la cortina.	61
2.2.5.3 Procedimiento para el procesamiento de materiales T y 3C.	62
2.2.5.4 Procedimiento para el procesamiento de material 3B de la cortina.	65
2.3 Almacenamiento.	68
2.4 Pruebas de control de calidad de los materiales obtenidos para colocación en cortina.	69
2.4.1 Procedimiento para el muestreo de los materiales 3B, T y 3C.	70
2.4.2 Procedimiento para el muestreo de filtros (2, 2F y F), en la banda de producción del estabilizador.	73
2.4.3 Procedimiento para la realización de secado y disgregado.	75
2.4.4 Procedimiento para reducción de muestras al tamaño de prueba de material 2, 2F, F, 1B y material que pasa la malla de 3 ^o obtenido de los materiales 3B, T Y 3C.	78
2.4.5 Procedimiento para prueba de granulometría de materiales.	83
2.4.6 Procedimiento para la obtención de la densidad de sólidos del material que pasa la malla N ^o 4.	88
2.4.7 Procedimiento para obtención de gravedad específica, absorción y peso unitario de agregado grueso.	95
III.- USO Y COLOCACIÓN.	101
3.1 Generalidades.	101
3.2 Uso de los materiales granulares de la cortina.	102
3.2.1 Material 3B.	102
3.2.2 Material T.	102
3.2.3 Material 3C.	102
3.2.4 Material 2.	103
3.2.5 Material F.	103
3.2.6 Material 2F.	103
3.2.7 Material 1S.	103



3.2.8 Materiales 1B, 3H y 3G.	104
3.2.9 Material 4.	104
3.3 Trabajos previos a la colocación.	104
3.3.1 Generalidades.	104
3.3.2 Alcance.	105
3.3.3 Programa general de construcción.	105
3.4 Preparación de la cimentación.	107
3.4.1 Cimentación para el plinto y materiales 2 y 2F.	108
3.4.2 Cimentación para colocación de los materiales 3B y T.	110
3.4.3 Cimentación para colocación del material 3C.	111
3.4.4 Cimentación para la colocación del material 4.	111
3.4.5 Cimentación para materiales 1B, 3H y 3G.	111
3.4.6 Cimentación para filtro F sobre zona de diques geológicos.	111
3.5 Plan para la obtención y transporte de los materiales.	111
3.6 Etapas de construcción.	114
3.6.1 Primera etapa.	114
3.6.2 Segunda etapa.	115
3.6.3 Tercera etapa.	115
3.6.4 Cuarta etapa.	116
3.6.5 Quinta etapa.	117
3.6.6 Sexta etapa.	118
3.7 Procedimiento para la colocación de materiales.	119
3.7.1 Generalidades.	119
3.7.2 Procedimiento.	120
3.7.3 Sistema de humectación.	130
3.7.4 Compactación.	131
3.7.5 Recursos: maquinaria, equipo y mano de obra.	135
3.8 Trabajos complementarios.	136
IV.-PRUEBAS DE CAMPO Y CONTROL DE CALIDAD.	139
4.1 Pruebas de control de calidad en campo de los materiales colocados en cortina.	139
4.1.1 Procedimiento para calas volumétricas con determinación de peso volumétrico seco.	140
4.1.2 Procedimiento para prueba de permeabilidad en campo.	149
4.1.3 Procedimiento para prueba de permeabilidad de laboratorio.	153
4.1.4 Parámetros de liberación o rechazo de materiales colocados en cortina de acuerdo a especificaciones.	157
4.2 Pruebas de control de calidad en laboratorio de los materiales colocados en cortina.	160
4.2.1 Procedimiento para prueba de límites de plasticidad.	161
4.2.2 Pruebas adicionales en los materiales 3B, T y 3C.	165
4.2.2.1 Procedimiento para prueba de rotura de granos de los materiales 3B, T y 3C para cortina.	166
4.2.2.2 Procedimiento para la extracción de núcleos en fragmentos de roca y ensayo de resistencia en compresión simple de las muestras extraídas.	171
4.2.2.3 Procedimiento para la determinación de la abrasión de materiales.	177
4.2.2.4 Procedimiento de prueba para determinar la resistencia al intemperismo acelerado de los materiales.	182
CONCLUSIONES.	188
ANEXOS.	
Anexo A. Graficas de las pruebas granulométricas realizadas a los materiales granulares para la cortina.	191
Anexo B. Planos de la zonificación de materiales en la cortina.	199
BIBLIOGRAFÍA.	203



ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla no. 1.- Rendimiento anual de las cortinas instaladas sobre el Río Santiago.	15
Tabla no. 2.- Datos meteorológicos de la zona.	17
Tabla no. 3.- Datos hidrológicos de la zona.	17
Tabla no. 4.- Niveles de control, elevación y capacidades del embalse.	20
Tabla no. 5.- Elementos de la obra de desvío.	22
Tabla no. 6.- Medidas principales de la cortina.	23
Tabla no. 7.- Elementos de las obras de excedencias.	24
Tabla no. 8.- Requerimiento de material.	37
Tabla no. 9.- Plan para extraer aluvión.	38
Tabla no. 10.- Explotación de bancos de aluvión.	38
Tabla no. 11.- Explotación de bancos de aluvión.	38
Tabla no. 12.- Explotación de bancos de aluvión.	39
Tabla no. 13.- Explotación de bancos de aluvión.	39
Tabla no. 14.- Requerimientos de material para las obras de contención y producción de agregados.	40
Tabla no. 15.- Explotación de bancos de aluvión.	41
Tabla no. 16.- Dosificaciones recomendadas para los distintos tipos de filtros.	52
Tabla no. 17.- Dosificaciones recomendadas para los distintos tipos de filtros.	69
Tabla no. 18.- Intensidad del muestreo para las pruebas de granulometría.	72
Tabla no. 19.- Intensidad del muestreo para las pruebas de granulometría.	75
Tabla no. 20.- Mallas a usar en la prueba de granulometría dependiendo de el material a ensayar.	85
Tabla No. 21.- Densidad del agua y coeficiente de temperatura (k) para varias temperaturas.	90
Tabla No. 22.- Densidad del agua y coeficiente de temperatura (k) para varias temperaturas.	91
Tabla No. 23.- Cantidad de masa a usar en el picnómetro.	92
Tabla No. 24.- Cantidad de masa a ensayar de acuerdo al tamaño del agregado.	97
Tabla no. 25.- Movimientos de material en la primera etapa de construcción.	114
Tabla no. 26.- Movimientos de material en la segunda etapa de construcción.	115
Tabla No. 27.- Movimientos de material en la tercera etapa de construcción.	115
Tabla no. 28.- Movimientos de material en la cuarta etapa de construcción.	116
Tabla no. 29.- Movimientos de material en la cuarta etapa de construcción.	117
Tabla no. 30.- Movimientos de material en la quinta etapa de construcción.	117
Tabla no. 31.- Movimientos de material en la quinta etapa de construcción.	118
Tabla no. 32.- Movimientos de material en la sexta etapa de construcción.	118
Tabla No. 33.- Rodillo a utilizar según la sección a compactar.	133
Tabla no. 34.- Pruebas de los materiales en la cortina.	139
Tabla no. 35.- Buretas 1 y 2 para calas volumétricas.	141
Tabla no. 36.- Buretas 3 y 4 para calas volumétricas.	141
Tabla no. 37.- Coeficiente de permeabilidad.	150
Tabla no. 38.- Grado de compactación.	159
Tabla no. 39.- Pruebas a realizar por tipo de material.	160
Tabla no. 40.- Pruebas a realizar por tipo de material.	160
Tabla no. 41.- Pruebas de laboratorio, adicionales a realizar por tipo de material.	165
Tabla no. 42.- Granulometrías a los materiales ensayados en la rotura de granos.	170
Tabla no. 43.- Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas.	179
Tabla no. 44.- Juego de mallas.	182
Tabla no. 45.- Tamaño de la muestra.	184
Tabla no. 46.- Cantidad de reactivo empleado para preparar la solución de prueba.	185
Tabla no. 47.- Juego de mallas.	187



ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. no. 1.- Aprovechamientos hidráulicos sobre el Río Santiago.	13
Fig. no. 2.- Aprovechamientos hidroeléctricos sobre el Río Santiago.	14
Fig. no. 3.- Cuenca del Río Santiago.	15
Fig. no. 4.- Ubicación del P.H. La Yesca.	16
Fig. no. 5.- Obra de desvío sobre el Río Santiago.	21
Fig. no. 6.- Explotación de los playones del Río Santiago	28
Fig. no. 7.- Extracción del aluvión.	34
Fig. no. 8.- Vista panorámica de la planta de trituración.	43
Fig. no. 9.- Mezclador continuo con dosificación de agua.	49
Fig. no. 10.- Tolvas dosificadoras de grava-arena y finos.	49
Fig. no. 11.- Banda transportadora de materiales hacia el mezclador.	52
Fig. no. 12.- Descarga del producto final obtenido (material 2).	53
Fig. no. 13.- Extracción del aluvión en el canal de desfogue.	54
Fig. no. 14.- Primario 2 procesador de los materiales 3B, T y 3C.	62
Fig. no. 15.- Almacén general de materiales procesados para cortina.	69
Fig. No. 16.- Partidor mecánico método-A.	81
Fig. no. 17.- Cuarteo manual método-B.	81
Fig. no. 18.- Realización de la prueba de granulometría.	87
Fig. no. 19.- Curva de calibración de matraz.	87
Fig. no. 20.- Limpieza del cauce del Río Santiago.	105
Fig. no. 21.- Construcción del plinto en la margen izquierda.	109
Fig. no. 22.- Plan para la transportación del material 3B a la cortina.	112
Fig. no. 23.- Plan para la transportación del material T.	112
Fig. no. 24.- Plan para la transportación del material 3C.	113
Fig. no. 25.- Plan para la transportación del material 4.	113
Fig. no. 26.- Colocación y humectación de materiales en la cortina.	131
Fig. no. 27.- Compactación de los materiales colocados en la cortina.	132
Fig. no. 28.- Aros de acero para la prueba de calas volumétricas.	144
Fig. no. 29.- Buretas para la prueba de calas volumétricas.	145
Fig. no. 30.- Inicio de la excavación.	146
Fig. no. 31.- Comprobando la profundidad requerida para la prueba.	146
Fig. no. 32.- Pozo listo para iniciar el llenado.	147
Fig. no. 33.- Colocación del polietileno.	147
Fig. no. 34.- Llenado del pozo.	148
Fig. no. 35.- Una vez lleno el pozo se toman las lecturas de las buretas.	148
Fig. no. 36.- Permeámetro de carga constante.	155
Fig. no. 37.- Permeámetro de carga variable.	156
Fig. no. 38.- Esquema de la extracción correcta de muestras.	173
Fig. no. 39.- Trepanadora eléctrica para extracción de núcleos.	176
Fig. no. 40.- Características principales de la maquina de Los Ángeles.	181



INTRODUCCIÓN

Cuando se inicia el diseño de una cortina, es común tener en mente la clase de material a emplear, pero finalmente lo que ayudará a la elección definitiva de los mismo, será el hecho de considerar distintos diseños que tomen en cuenta la zona, las necesidades, la elevación y el uso al que se destinará la mencionada cortina, además de considerar la seguridad estructural y del funcionamiento hidráulico en todos los casos.

En la elección del material constructivo, fundamentalmente se contemplan los siguientes factores:

- Materiales existentes en lugar.
- Perfil geológico del cauce.
- Altura de la cortina.

Los materiales de la región combinados con la geología del cauce, son decisivos para elegir el tipo de cortina, porque influyen en la economía de la misma.

La altura de las cortinas en ocasiones es una limitante para el empleo de presas " tipo indio " debido a que los taludes que se obtienen con las cargas hidráulicas grandes dan por resultado volúmenes de materiales considerables que hacen preferir a las cortinas rígidas y además se obtienen pasos de filtración largos y la posibilidad de filtraciones ya no tolerables. Para las cortinas rígidas no hay alturas límites recomendadas y su sección será la que resulte del cálculo de su estabilidad. En varias ocasiones, debido a la subpresión resultante, es necesario agregar un respaldo de material arcilloso o de mampostería para abatir la robustez de la cortina. En general, se pueden agrupar estas cortinas en dos clases: de sección homogénea y sección zonificada. Las primeras constan de una masa relativamente grande de suelo compactado, en cambio las segundas están formadas por un núcleo impermeable y respaldos permeables o drenados libremente.



La sección depende de los factores de la cimentación, materiales disponibles, función de la obra y clima.

Es importante para el desarrollo de este trabajo hacer algunas definiciones respecto a la geometría y los elementos que integran la cortina.

Corona: Parte superior de la estructura, generalmente revestida para prevenir el secado del corazón impermeable y proporcionar una vía para el tránsito de vehículos.

Altura: Diferencia entre las elevaciones de la corona y el punto más bajo de la cimentación.

Bordo libre: Distancia vertical entre el nivel de la corona y el de las aguas máximo extraordinarias (NAME); este último se alcanza cuando el vertedor trabaja a su capacidad límite de descarga. El bordo libre debe de proteger a una presa, con cierto margen de seguridad, de los efectos del oleaje generado por el viento o sismos y tomar en cuenta el asentamiento máximo de la corona.

NAMO: Nivel de aguas máximas ordinarias. Coincide con la elevación de la cresta del vertedor en el caso de una estructura que derrama libremente; si se tienen compuertas, es el nivel superior de estas.

Taludes exteriores: Están relacionados a la clasificación de suelos que se va a usar en la construcción, especialmente suelos impermeables. El talud elegido es estrictamente conservador, y dependen del tipo de cortina y de la naturaleza de los materiales.

Núcleo impermeable: Pantalla impermeable de la cortina construida con suelo compactado este núcleo puede estar al centro y ser vertical o inclinado, o bien, localizado próximo al paramento de aguas arriba. Dichas alternativas van a depender de los materiales del lugar.

Respaldos: Partes de la cortina construidas con materiales permeables (enrocamiento, gravas o arenas), o bien, suelos limosos o arcillosos colocados aguas abajo pero confinados por filtros.

Filtros: Elementos de la sección formados con arena limpia, bien graduada, destinados a coleccionar las filtraciones a través del núcleo y protegerlo de una posible erosión interna; puede requerirse un filtro vertical al centro, unido a otro en la base, aguas abajo: cuando el respaldo de aguas arriba debe de construirse con un material de permeabilidad relativamente baja, suelen intercalarse capas filtrantes horizontales.



Protecciones: Para evitar la erosión causada por oleaje por el talud de aguas arriba o por lluvias en el de aguas abajo, los paramentos respectivos se forman con materiales capaces de resistir dicha acción. Aguas arriba es conveniente usar una capa de enrocamiento, pero la carencia de las rocas en el lugar puede obligar el uso de losas de suelo-cemento, concreto o de recubrimientos asfálticos. Aguas abajo es frecuente cubrir con una capa de suelo y césped.

OBJETIVO

Desarrollar los procedimientos que cumplan con parámetros de control de calidad para la obtención, colocación y uso de los distintos materiales granulares que conformarán la cortina de la Presa Hidroeléctrica La Yesca.

ALCANCES

Para cumplir con el objetivo arriba mencionado, este trabajo se trata de la siguiente manera:

En el *Capítulo I Aspectos generales*, se trata todo lo relacionado a los antecedentes del proyecto hidroeléctrico La Yesca, las razones del por que es necesario realizar un proyecto de esta magnitud en el país, además de la ubicación del mismo, las características geológicas y geográficas de la zona donde se ubicara y las obras principales y complementarias que se llevarán a cabo dentro del proyecto.

En el *Capítulo II Descripción, obtención y pruebas de laboratorio*, se describen los materiales a usar en la cortina de acuerdo a la granulometría requerida, el procedimiento que se utiliza para obtenerlos de los bancos de explotación, el procesamiento que se les da de acuerdo al tipo de material que se requiera y su posterior almacenamiento todo esto cumpliendo con las especificaciones de obra,



además de las distintas pruebas de control de calidad que se aplican a cada uno de los materiales para verificar que cumplan con lo establecido en las especificaciones.

En el *Capítulo III Uso y colocación*, se da una explicación del uso que tendrá cada uno de los materiales de acuerdo a la zona donde serán utilizados (zona impermeable, zona de transición, zona de enrocamiento o como filtros), además se trata todo lo relacionado a los procedimientos para la colocación y compactación de cada uno de los materiales, donde se incluyen los trabajos previos a realizar, la cimentación que se usará y los trabajos complementarios en la cortina, todo esto establecido en las etapas de construcción mencionadas en este capítulo.

En el *Capítulo IV Pruebas de campo y control de calidad*, se describe las pruebas de control de calidad a realizar en campo a las capas de materiales colocados y compactados en la cortina todo esto con el fin de comprobar que se cumplan con los parámetros establecidos para su posterior aceptación o rechazo de la misma, además se describen las pruebas realizadas en laboratorio a los materiales extraídos de las capas aceptadas.

Finalmente se mencionan las conclusiones a las que se llegó con la elaboración de este trabajo.



I.- ASPECTOS GENERALES.

1.1 Antecedentes.

El Proyecto Hidroeléctrico La Yesca, forma parte del Sistema Hidrológico del río Santiago, que comprende a 27 proyectos con un potencial hidroenergético de 4,300 MW, del cual sólo se ha desarrollado el 32% mediante la construcción de seis Centrales. El P.H. La Yesca ocupará el segundo lugar en potencia y el tercer lugar en generación dentro del sistema, después de la Central de Aguamilpa-Solidaridad y de El Cajón.

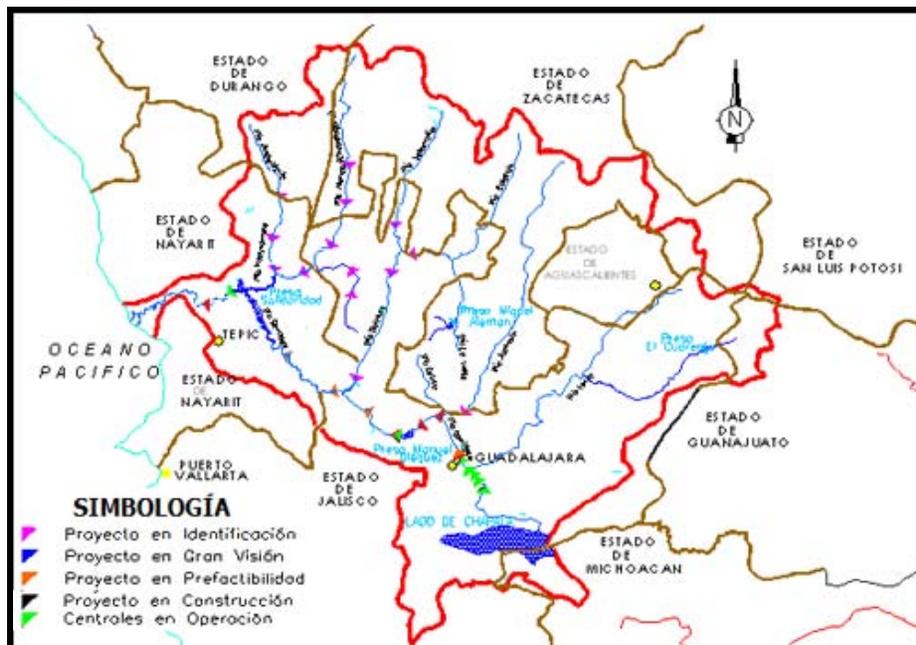


Fig. no. 1.- Aprovechamientos hidráulicos sobre el Río Santiago.

El proyecto de la P.H. la yesca contempla la construcción de una presa de 220 m de altura (en su tipo la mas alta del mundo), para regular los escurrimientos del Río Santiago y Bolaños mediante la formación de un vaso de almacenamiento que



permitirá la generación hidroeléctrica, la superficie inundable (área de embalse) asciende a 3 492 ha en su nivel máximo extraordinario, involucrando 64 habitantes afectables. La Yesca ocuparía el tercer lugar en potencia instalada y generación dentro del sistema hidrológico del Río Santiago y esta conceptualizado como planta de generación para horas pico de consumo de energía eléctrica, con una potencia total instalada de 750 MW con dos unidades generadoras para una generación total anual estimada de 1 210 GWh.

Su embalse contribuirá a regular los escurrimientos de su cuenca y beneficiará a las centrales hidroeléctricas Aguamilpa y El Cajón. Otros beneficios derivados de la realización del proyecto son las creaciones de más de 5 000 empleos directos y 5 000 indirectos con importante derrama económica de la región.

El embalse podrá utilizarse como vía fluvial de comunicación y comercialización y el cambio de acceso del proyecto permitirá el cruce del Río Santiago comunicando a la zona serrana del estado de Nayarit.

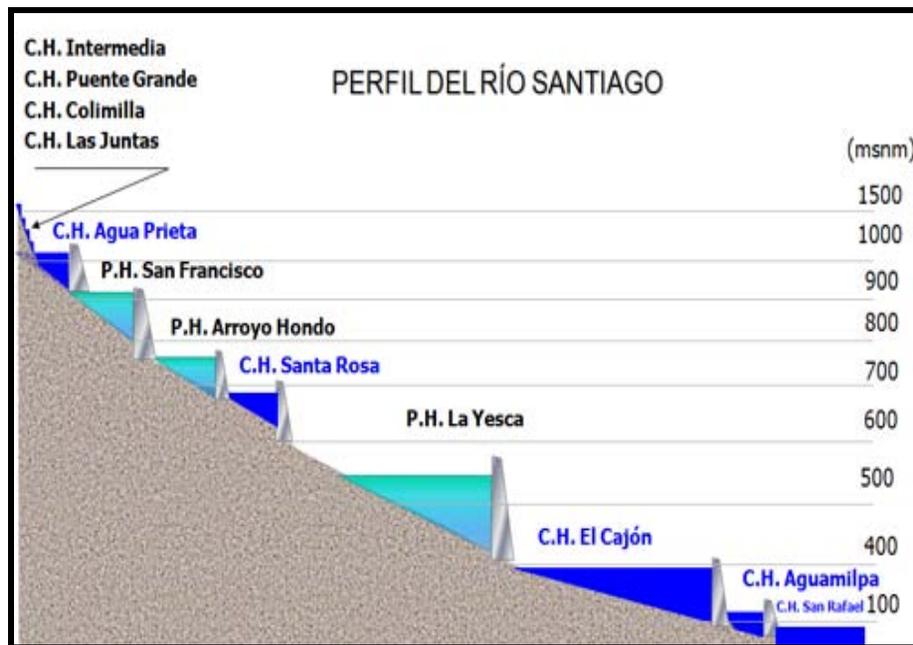


Fig. no. 2.- Aprovechamientos hidroeléctricos sobre el Río Santiago.

Su embalse contribuirá a regular los escurrimientos de su cuenca y beneficiará a las Centrales Hidroeléctricas de El Cajón y Aguamilpa, ya que al recibir su vaso las aportaciones reguladas del río, incrementará su generación firme y se reducirán las probabilidades de derrama por el vertedor.

El aprovechamiento permitirá la generación de energía eléctrica mediante dos unidades de 375 MW cada una.



Fig. no. 3.- Cuenca del Río Santiago.

Tabla no. 1.- Rendimiento anual de las cortinas instaladas sobre el Río Santiago.

Nombre	Potencia instalada MW	Generación media anual GWh
C.H. Intermedia	5.32	4.41
C.H. Puente Grande	17.40	12.72
C.H. Colimilla	51.20	40.48
C.H. Las Juntas	15.00	16.90
C.H. Agua Prieta	240.00	462.53
P.H. San Francisco	278.00	609.40
P.H. Arroyo Hondo	133.00	291.50
C.H. Santa Rosa	61.20	195.90
P.H. La Yesca	750.00	1 413.00
C.H. El Cajón	750.00	1 228.00
C.H. Aguamilpa	960.00	2 133.00

CFE 2006

1.2 Características geográficas del sitio.

El P. H. La Yesca, se localiza sobre el río Santiago a 105 km al NW de la Ciudad de Guadalajara y a 22 km al NW de la población de Hostotipaquillo, Jalisco. Forma parte del límite entre los estados de Nayarit y Jalisco, constituido legalmente por el



cauce del río Santiago. La boquilla del P. H. La Yesca se localiza a 90 km, en línea recta, al noroeste de la ciudad de Guadalajara, a 4 km aguas abajo de la confluencia de los ríos Bolaños y Santiago y sobre el cauce de este último; sus coordenadas geográficas son: 21° 11' 49" Norte 104° 06' 21" Oeste.



Fig. no. 4.-. Ubicación del P.H. La Yesca.

Se puede aseverar que en el sitio seleccionado no se pone en riesgo ningún hábitat extraordinario ni se amenaza la sobrevivencia de alguna especie protegida, ya que las áreas que se inundarán corresponden al mismo tipo de vegetación que se extiende prácticamente a lo largo del cañón del Río Santiago.

Los estudios preeliminares realizados, asociados con los criterios utilizados para la selección del sitio, fueron contundentes para elegir el sitio actual del proyecto como la mejor opción para su realización.

Desde el punto de vista hidrológico el sistema ambiental en el que se desarrolla el proyecto está delimitado por el cañón del Río Santiago en el área de la cuenca propia del P.H. La Yesca. A partir de la presa Santa Rosa se regula el escurrimiento del río hacia la zona donde se construirá el proyecto y aguas debajo de este, el futuro embalse de la presa El Cajón Nay. Este sistema ambiental corresponde a un área ambientalmente uniforme, en la cual predominan pendientes muy pronunciadas de tipo cañón; la vegetación que cubre la mayor parte del sistema es Selva Baja Caducifolia, con suelos someros y pedregosos. El comportamiento hidrológico depende fundamentalmente de las descargas de la presa Santa Rosa, siendo en este tramo el Río Santiago.



Tabla no. 2.- Datos meteorológicos de la zona.

Meteorológicos	
Temperatura máxima/mínima	46.9/ 12 °C
Temperatura de diseño máxima/mínima	37.5/ 20.6 °C
Temperatura de bulbo seco promedio	37,0 °C
Humedad relativa verano/invierno	36,4/48,6 %
Humedad relativa promedio	38%
Aceleración horizontal máxima del terreno	0,2g Gals
Presión barométrica	98 kPa
Velocidad del viento	110 km/h
Temperatura promedio del agua	27,18 °C
Temperatura mínima del agua	23,83 °C
Zona climática/Ambiente	Cálida subhúmeda/Rural

CFE 2006

Tabla no. 3.- Datos hidrológicos de la zona.

Hidrológicos	
Área de la cuenca	51,990 km ²
Escurrimiento medio anual	3,088.2 hm ³
Avenida máxima registrada	7,191 m ³ /s
Gasto medio anual	97.86 m ³ /s
Gasto medio aprovechable	92.05 m ³ /s
Periodo de registro	54 años

CFE 2006

1.3 Características geológicas de la región.

Geología.

Con base en la información geológica proporcionada por el contratista en el sitio se encuentra una masa rocosa compuesta por una riodacita pseudoestratificada con buzamiento variable, afectada por un fracturamiento de origen tectónico con orientaciones NW y en menor proporción E-W y NE. En el eje de la boquilla existe una estructura geológica importante de nominada Murciélago, que por sus características de continuidad es una de las más significativas para las Obras de



Contención, dado que pareciera ser la parte correspondiente de la margen derecha a la Falla Colapso ubicada en la margen izquierda.

Margen derecha.

La cortina quedará emplazada en dos unidades litológicas. La parte media superior corresponde a una ignimbrita riodacítica afectada por un intenso fracturamiento parcialmente abierto y relleno por calcita y arcilla. La parte medio inferior corresponde a un derrame con un moderado fracturamiento poco abierto y cerrado a profundidad. El espesor de la zona descomprimida es de 5 a 20 m y corresponde a una roca muy fracturada y ocasionalmente alterada. Las velocidades sísmicas que registra son de 1 430- 1770 m/s y a mas profundidad alcanza 2 400- 4 000 m/s.

Margen izquierda.

En este caso la cortina se alojará en un derrame dacítico muy silicificado, compacto, con dureza media a alta, fracturada y de regular calidad. La zona descomprimida tiene un espesor de 5 a 12 m que corresponde a una roca alterada y fracturada con velocidades sísmicas de 1 250 m/s y a mayor profundidad alcanza valores entre 2 500 y 3 000 m/s.

Cauce del río.

El espesor promedio de aluvión es de 15 m de espesor. Debajo existe una roca alterada, fracturada y fragmentada de 15 m de espesor. Las velocidades sísmicas cercanas a la superficie fueron de 1 420 m/s, mientras que a mayor profundidad se reportó una roca de regular a buena calidad con velocidades de 2 350 a 3 000 m/s.

En la boquilla afloran dos formaciones litológicas de origen volcánico del Terceario. Una Unidad dacítica-riodacítica, de color grisáceo, textura porfírica, fluidal y en parte esferulítica, con bandeamientos de sílice. Se encuentran ampliamente distribuida a lo largo del futuro embalse y en el río Bolaños.

La otra Unidad, está compuesta por una ignimbrítica dacítica-riodacítica, de tono parduzco, con zonas afectadas por intemperismo. Tiene aspecto masivo, seudo estratificado con fragmentos subredondeados, bien soldados con apariencia brechoide, capas de 1 a 5 m de espesor. Están sobre las dacitas-riodacitas y son prácticamente contemporáneas.

En la geología estructural, influenciada por el marco regional, se encuentran bloques con callamientos entre sí, como el resultado de una o varias etapas de



tectónica distensiva, donde también intervienen movimientos de corrimiento lateral, o bien, por el proceso de formación de la roca en forma de domos volcánicos.

Con base en la información geológica proporcionada por el contratista, se tiene identificado que el desplante se hará principalmente en las unidades geológicas descritas en ambos márgenes. En el margen izquierdo se encuentran depósitos de talud que será necesario remover para cumplir con las condiciones de cimentación requeridas en las diferentes zonas de materiales de la cortina.

Se han identificado algunas zonas en donde se observan condiciones de inestabilidad por formación de bloques o cuñas, por lo cual en el proceso de remoción de materiales para el desplante se tendrá especial atención en éstos.

- La geología del sitio es una masa rocosa afectada por un fracturamiento de origen tectónico con orientaciones NW y en menor proporción EW y NE.
- El patrón sísmico predominante en la región es de tipo enjambre y se asocia principalmente con las fosas tectónicas de Tepic-Chapala y Chapala-Colima. Existe conocimiento de la geología del sitio y de las discontinuidades estructurales.
- Se han llevado a cabo estudios en los bancos de materiales (aluvión del río y enrocamiento) y realizado una extensa campaña de investigaciones geotécnicas para definir los parámetros de resistencia, deformación y permeabilidad del macizo rocoso.
- También se han realizado estudios y de análisis geológico-geotécnico para prediseñar las obras civiles estimando las cantidades de obra y costo con mayor certidumbre.

1.4 Obras principales.

Las obras principales que comprende el proyecto son:

1. Obras asociadas (camino, campamentos)
2. Obras de desvío del río (túneles y ataguías)
3. Obras de contención para contener el embalse (cortina)
4. Obras de excedencias para la derrama del agua en caso de avenidas máximas extraordinarias (vertedor)
5. Obras de generación de energía (obra de toma, casa de máquinas, desfogue y subestación eléctrica)

Las obras principales están relacionadas entre sí tanto en la construcción como en la operación, durante la construcción se desarrollan vialidades o caminos



provisionales, así como la vialidad definitiva para el acceso a la central hidroeléctrica.

La cortina será de enrocamiento compactado con cara de concreto en el frente aguas arriba, tendrá una altura máxima de 210 m y un volumen aproximado de terracerías de 12 200 000 m³.

Tabla no. 4.- Niveles de control, elevación y capacidades del embalse.

Cota	Descripción	Elevación msnm	Capacidad m ³
	Corona de la cortina	580	
NAME	Nivel de aguas máximo extraordinario	578	2 393 000
NAMO	Nivel de aguas máximas de operación	575	2 293 000
NAMINO	Nivel de aguas mínimas de operación	518	901 000

CFE 2006

El embalse tendrá una capacidad para regulación de avenidas de 100 000 m³. El volumen útil para generación será de 1 392 000 m³.

El sitio previsto para la construcción de las obras del proyecto se encuentra sobre el cause principal del Río Santiago, 6 km aguas abajo de la confluencia con el Río Bolaños y 62 km aguas arriba de la cortina de la presa El Cajo. El embalse abarcará superficie de los estados de Jalisco y Nayarit ya que el límite entre ambos es el Río Santiago. Las obras principales se ubicarán en los municipios de Hostotipaquillo, Jal. Y La Yesca, Nay., sobre terrenos de régimen particular.

Los criterios más importantes considerados para la elección del sitio La Yesca, fueron los siguientes:

- Un sitio a lo largo del cause donde existiera un desnivel topográfico adecuado para la generación de energía eléctrica
- Presenta características geológicas y geotécnicas adecuadas para el desarrollo de la cortina
- Aprovechar al máximo los escurrimientos que drenan por la cuenca para maximizar la capacidad útil del embalse
- Disponibilidad de materiales para construir la cortina y fabricar los agregados para concreto
- Superficie de embalse baja con relación a la altura de la cortina
- Baja densidad poblacional involucrada por el embalse
- Inexistencia de grupos étnicos
- Mínima infraestructura afectable



Obras de desvío.-Consiste en dos túneles (14mX14m) localizados en la margen izquierda del río, excavados en roca y revestidos de concreto hidráulico en la plantilla y paredes y concreto lanzado en la bóveda. Fueron diseñados para transitar la avenida de diseño (5,730.60 m³/s) y cada uno cuenta con una lumbrera revestida de concreto para alojar y operar los obturadores accionados por malacates estacionarios para el control del flujo de agua. La compuerta se deslizará por una lumbrera vertical revestida de concreto por medio de un malacate y el mecanismo instalado estará en la plataforma junto al marco que soportará la compuerta durante el cierre final. (Los portales de entrada y salida serán excavados en roca).

La obra de desvío se complementa con dos ataguías construidas con materiales graduados. El núcleo impermeable de ambas estará ligado a una pantalla impermeable construida sobre aluvi6n, hasta la roca del fondo del cauce del río, para evitar filtraciones hacia la zona de construcci6n de la cortina, garantizando la correcta construcci6n del núcleo y pantalla impermeables. Para tener las condiciones adecuadas para el desplante del plinto -consistente en mantener seca dicha zona- es conveniente realizar la construcci6n de las ataguías antes del período de lluvias.



Fig. no. 5.- Obra de desvío sobre el Río Santiago.



Tabla no. 5.- Elementos de la obra de desvío.

Obra de desvío	
<i>Túnel (sección portal)</i>	
Número de túneles	2
Sección portal	14x14 m
Longitud túnel 1	693.35 m
Longitud túnel 2	750.57 m
Gasto máximo de la avenida	7,578 m ³ /s
Gasto máximo de diseño	5,737,78 m ³ /s
Velocidad máxima de descarga	16.40 m ³ /s
Volumen de la avenida	2,250.94 Mm ³
Elevación de entrada t1	392 msnm
Elevación de salida t1	387 msnm
Elevación de entrada t2	397 msnm
Elevación de salida t2	387 msnm
Elevación máxima de descarga aguas arriba / aguas abajo	438.27 / 406.40 msnm
Obturadores 2 para t1 (ancho x alto)	6X14 m
Obturadores t2 (ancho x alto)	14X14 m
Carga hidráulica máxima (t1 / t2)	27 / 38 m
Masa estimada de cada elemento	80 / 220 t
Periodo de retorno (Tr)	100 años
<i>Ataquéa aguas arriba</i>	
Elevación de la corona	439,00 msnm
Ancho de la corona	12,00 m
Longitud de la corona	229,49 m
Talud aguas arriba y aguas abajo	1.4:1
<i>Ataquéa aguas abajo</i>	
Elevación de la corona	409.00 m
Ancho de la corona	8,00 m
Longitud de la corona	107.71 m
Talud aguas arriba y aguas abajo	1.8:1

CFE 2006

Obras de contención.-Consiste en una cortina del tipo enrocamiento, cuyo cuerpo se compone de materiales graduados que dan apoyo a la cara de concreto formada con tableros (aproximadamente 15m de ancho y de espesor variable). Cuya altura total al desplante es de 205,50 m, incluyendo un parapeto de 4,50 m de altura. Los taludes tanto de aguas abajo, como de aguas arriba son de 1,4:1 (H:), la corona esta proyectada en la elevación 579,00 y el borde superior del parapeto a la elevación 580,50. El desplante de la cortina estará en la elevación 375,00 y la elevación máxima de las terracerías será la 576,00; con una longitud de la corona 628,778 m.



La cortina estará formada con materiales producto de la explotación del aluvión en el río Santiago y en el Bolaños, así como de enrocamiento producto de la excavaciones de las estructuras que formará el cuerpo principal y de materiales procesados graduados que dan apoyo a la cara de concreto en el talud aguas arriba. La cara estará formada por losas de concreto de espesor variable de 13 m de ancho. Para garantizar que las filtraciones sean mínimas el proyecto incluye un sistema de sellos de cobre colocados en todas las juntas entre losas, en la junta perimetral plinto-cara, y en la parte superior cara-parapeto.

La unión de la cara de concreto con la roca tanto en la zona del cauce como en las laderas se forma por medio de una losa perimetral de concreto armado anclada a la roca con acero corrugado de alta resistencia e inyectado con mortero de cemento, denominada plinto, que además de esta función sirve como plataforma para realizar las inyecciones de consolidación y pantalla impermeable.

El talud de aguas abajo estará formado de rocas acuñadas mayores a un metro de diámetro y sobre el talud se ubicará el camino de acceso casa de máquinas.

Para medir las filtraciones de la cortina en cualquier época del año, embebida en la ataguía aguas abajo se construirá una galería de filtraciones.

Tabla no. 6.- Medidas principales de la cortina.

Cortina tipo Enrocamiento con cara de concreto (ECC)	
Elevación de la corona	579 m
Elevación máxima del parapeto	580,50 m
Elevación máxima de terracerías	576 m
Longitud de la corona	628,77 m
Altura total al desplante (incluye parapeto)	220 m
Elevación de desplante	375 m
Altura bordo libre	2,50 m
Ancho de la corona	11 m
Talud aguas arriba	1,4 :1
Talud aguas abajo	1,4 :1

CFE 2006

Obras de generación.-Las obras de generación se ubicarán en la margen derecha y comprenden: la conducción o tubería a presión, la casa de máquinas, túnel de aspiración, galería de oscilación y desfogue como estructuras principales.



La conducción de agua hacia la casa de máquinas se hace mediante dos túneles circulares a presión, hechos de concreto reforzado en su primera parte y posteriormente revestidos con camisa metálica.

La casa de máquinas es subterránea y su ingreso será por un túnel vehicular. La obra se complementa con la galería de oscilación y el túnel de desfogue, ambos excavados en roca.

- La subestación se ubicará en una plataforma exterior y contará con blindaje tipo SF6.

Casa de maquinas.

La casa de máquinas se aloja en una caverna excavada en roca. Sus losas, muros y bóveda son de concreto reforzado. Está equipada con dos grupos de turbogeneradores, con turbinas son tipo "Francis" de eje vertical. A la casa de máquinas se ingresa mediante un túnel vehicular, dimensionado de acuerdo con las partes más grandes de los equipos a instalar.

Así se introdujeron dos grúas viajeras con capacidad conjunta para el montaje y los servicios de mantenimiento de todos los equipos y sistemas auxiliares de los turbogeneradores. La energía es conducida a través de lumbreras verticales hasta la superficie, por medio de buses de fase aislada a los transformadores que van a elevar el voltaje de 17 a 400 kV. La subestación debe ser del tipo blindado, con dispositivos en atmósfera de hexafluoruro de azufre (SF6) y se alojará en un edificio construido en una plataforma a cielo abierto. De forma similar se ubican los transformadores de potencia, casetas de ventilación, control, baterías y la subestación blindada de servicios auxiliares de la central con una tensión 17 kV.

Obras de excedencias.-El vertedor de excedencias se localiza en la margen izquierda, estará controlado por 6 compuertas radiales de 12,00 x 22,40 metros y esta diseñada para un gasto máximo de 15,915 m³/s; inicia en un "canal de llamada" excavado a cielo abierto en la margen izquierda. Su zona de control está formada por el cimacio (remate de columna en forma de "S") y pilas de concreto reforzado para conformar seis vanos (huecos en los muros), los cuales están equipados con compuertas radiales operadas por servomotores. Y el canal de descarga (de 95m de ancho) es de sección rectangular revestido con concreto reforzado y aireadores en el piso, rematando en una cubeta deflectora tipo salto de ski.

Tabla no. 7.- Elementos de las obras de excedencias.

Obra de control y excedencias	
Tipo	Canal
Gasto máximo de diseño	15 915 m ³ /s
Gasto unitario máximo de descarga	209,86 m ³ /s/ m
Volumen de la avenida de diseño	5 283 hm ³



Tabla no. 7 cont.- Elementos de las obras de excedencias.

Obra de control y excedencias	
Periodo de retorno de la amp (Tr)	10,000 años
Velocidad máxima en la descarga	40 m/s
Carga sobre la cresta	22 m
Elevación de la cresta	556 m
Longitud total de la cresta	72 m
Carga hidráulica máxima	22,04 m
Compuertas radiales	6 piezas
Dimensiones (ancho x alto)	12 x 22,40 m
Masa estimada de cada compuerta	150 t
Relación alto / ancho	1,87
Mecanismos para izaje-	servomotores
Elementos de cierre auxiliar	tablero de agujas
Dimensiones (ancho x alto)	12,0 x 22,08
Carga hidráulica máxima	22,06 m
Mecanismos para izaje	grúa pórtico

CFE 2006

Obras asociadas.-El alcance de estas obras se consideran la construcción de:

- 31 módulos para dormitorios obrero y técnico-administrativo.
- 7 módulos para comedores, (5 de campo y 2 en campamentos)
- 18 módulos para oficinas.
- 1 clínica de obra.
- 6 módulos para almacenes.
- 3 módulos para usos varios.
- 11 casetas de vigilancia.
- 1 planta potabilizadora.
- 1 planta de tratamiento de aguas residuales.
- 1 pozo profundo de agua potable.
- 1 pozo profundo de agua industrial.
- Canchas deportivas.

Además, se habilitarán las instalaciones requeridas por el IMSS para la construcción de la clínica dentro del campamento, para lo cual se hará el diseño arquitectónico y estructural acorde a lo establecido por el IMSS.

Todo esto lo termina complementando las obras ambientales que sean requeridas, las vialidades definitivas, el puente sobre el canal de descarga del vertedor y la instrumentación.

Puente sobre el canal de descarga del vertedor.

Este puente se ubica sobre el canal de descarga del vertedor, aguas debajo de la estructura de control, su finalidad es que a través del mismo y en conjunto con el camino sobre la berma superior de la cortina y el que se construirá hasta el



poblado de la Yesca, se restituya el Paso de la Yesca que se inundará con el embalse con una longitud aproximada de 100 m y un ancho de 6 metros de calzada.

Vialidades definitivas.

- Carretera Mesa de Flores-Cortina (5.5 km).
- Corona de la cortina.
- Carretera sobre las bermas del paramento de aguas debajo de la cortina.
- Acceso a Casa de Maquinas.
- Acceso a Subestación Eléctrica.
- Acceso a Vertedor.
- Acceso a los Embarcaderos.
- Acceso a campamentos.
- Acceso a galerías de la cortina.



II.- DESCRIPCIÓN, OBTENCIÓN Y PRUEBAS DE LABORATORIO.

2.1 Materiales para cortina descripción.

La cortina del P.H. La Yesca es una estructura de 205.5 m de altura, cuyo cuerpo principal se compone de materiales graduados (aluvión y materiales procesados), obtenido de los bancos de aluvión existente a lo largo del cauce del río Santiago y producto de voladuras con explosivos, realizadas en las excavaciones de las zonas donde se ubicarán las estructuras del proyecto, principalmente el vertedor y obra de toma.

Los materiales producto de las excavaciones a cielo abierto de la obra de excedencias, excavación del canal de llamadas de las obras de generación, las excavaciones subterráneas y otras excavaciones a cielo abierto, así como los bancos de aluvión existentes a lo largo del cauce, cercanos al sitio de presa constituyen la fuente de aportación de los materiales para la cortina, siempre y cuando cumplan con lo especificado en este capítulo y sean enrocamientos sanos. Se entenderá por enrocamiento sano aquel que posea las siguientes características:

- Pérdida por abrasión en prueba Los Ángeles menor que 30%.
- Resistencia a la compresión simple de núcleos extraídos de fragmentos de roca mayor que 75 MPa (765 kg/cm²), en condiciones saturadas.
- Absorción menor que 5%.

El contratista debe explotar, procesar, almacenar, transportar, colocar y compactar todos los materiales necesarios para la construcción de la cortina. La aceptación de un banco de material no significa que todo el material que se extraiga sea aceptable para formar parte de la cortina. La aceptación de los materiales explotados es determinación conjunta del contratista y la comisión (basados en las pruebas de Control de Calidad) quienes deciden la disposición final de éstos dentro de la estructura o su rechazo.



Fig. no. 6.- Explotación de los playones del Río Santiago.

No se considera como aceptables los materiales que contengan raíces, troncos, materia orgánica, basura, exceso de finos u otros materiales que la comisión considere inadecuados para formar parte de la cortina. El rechazo de estos materiales se podrá dar en los bancos de préstamo, en el sitio de carga, durante el transporte o en el sitio de colocación, por lo anterior se debe vigilar el cumplimiento de la calidad de los materiales a colocar para no incurrir en costos innecesarios.

La descripción de los materiales a usar en la cortina, se indican a continuación:

Material 2.

El material 2 es producto del procesamiento del aluvión en greña o del enrocamiento sano y mezclado con limo arenoso, de ser necesario, para la granulometría que se requiere para el proyecto, clasificado como grava-arena limosa con un contenido de finos no plásticos entre 5 y 9 %, y con un porcentaje mayor al 35 % de material que pase la malla N° 4. Su tamaño máximo será de 5,08 cm.

Material 2F.

El material 2F debe ser producto del procesamiento de los bancos de aluvión, clasificado como grava-arena limosa bien graduada con contenido de finos entre 6



y 11 %, y con un porcentaje mayor del 45 % de material que pase la malla N° 4. Su tamaño máximo será de 3,8 cm.

Material 3B.

El material 3B lo constituye el aluvión en greña producto de los bancos de aluvión existentes a lo largo del cauce cumpliendo con la granulometría que se requiere. Para lograr esta granulometría se deberán de remover los sobretamaños (boleos con tamaño mayor que 60 cm de diámetro).

Material T.

El material T consiste en un aluvión y/o un enrocamiento sano producto de excavaciones y procesado, bien graduado y con la granulometría que se requiere.

Material 3C.

El material 3C lo constituye un aluvión o un enrocamiento sano bien graduado producto de las excavaciones de la obra o de la cantera definida para ese fin con la granulometría requerida y tamaño máximo de la partícula tal que quede perfectamente embebida y no provoque protuberancias en la superficie de la capa. Material 4 ó enrocamiento de protección en cortina.

Material 4.

El material 4 ó enrocamiento de protección debe estar formado por rocas sanas con tamaño mayor de 1,0 m, y colocarse de tal forma que sus caras mayores queden apoyadas horizontalmente, y entrelazadas y ligadas al material 3C para evitar que se formen depósitos inestables o susceptibles de deslizamientos.

Material 1B.

El material 1B consiste en una arena fina limosa con la distribución granulométrica que se requiere para el proyecto.

Material 3H.

El material 3H consiste de una rezaga libre de materiales arcillosos y de roca intemperizada, con 40 cm de tamaño máximo.

Material 3G.

El material 3G consiste de una rezaga libre de materiales arcillosos y de roca intemperizada, con 80 cm de tamaño máximo.



Material 1S.

El material 1S consiste en ceniza volante o limo arenoso con la distribución granulométrica que se requiere para el proyecto.

2.2 Obtención de materiales para cortina.

2.2.1 Plan para la obtención y transporte de los materiales.

De acuerdo con el programa de trabajo de las excavaciones de las estructuras, el de colocación de materiales de la presa y el de explotación de aluvión, se determina el origen y destino de los materiales, identificando los volúmenes provenientes de las excavaciones, de los bancos de préstamos, los volúmenes de almacenamiento y las distancias de acarreo a través de la red de caminos planificados.

2.2.2 Preparación de bancos.

El contratista deberá desmontar, despalmar y limpiar todos los bancos de préstamo a la profundidad necesaria para llegar al material aprovechable; la vegetación que crece en cualquier sitio de un banco de préstamo o de almacenamiento después de que haya sido limpiado y despalmado, debe ser retirada antes de excavar materiales aprovechables de ese sitio. El contratista deberá remover todo el material que a juicio de la comisión no cumple con las especificaciones para su colocación en la cortina.

2.2.2.1 Procedimiento para desmonte y despalme.

Objetivo.

Establecer la metodología para el retiro de la flora existente y de la capa vegetal, en el derecho de vía y en las áreas destinadas a bancos.

Alcance.

Este procedimiento aplica a cualquier área que requiera una preparación para trabajos de construcción, dentro del proyecto.

Definiciones.

- Tala: Consiste en cortar los árboles y arbustos.



- Roza: Consiste en quitar la maleza, hierba, zacate o residuos de siembra.
- Desenraíce: Consiste en sacar los troncos o tocones con raíces cortando estas.
- Limpia: Consiste en retirar el producto de desmonte y colocarlo en los bancos autorizados.
- Monte árido o semiárido. Constituido primordialmente por árboles de poca altura y diámetro reducido, así como por arbustos.
- Monte de regiones desérticas, zonas cultivadas y pastizales. Predominan las cactáceas, vegetación de sembradío y zacatales respectivamente.

Responsabilidades.

Superintendente de construcción.

- Revisa, sanciona, vigila la aplicación de este procedimiento y hace que se cumpla tal y como se describe; además, supervisa que los jefes de obra no inicien actividad alguna fuera de lo especificado en el presente procedimiento.

Jefe de obra construcción.

- Cumplir y hacer cumplir este procedimiento de la manera planeada y descrita; así como instruir a los sobrestantes y cabos sobre el contenido y aplicación del presente procedimiento para la ejecución de la obra.

Antecedentes.

- Se requiere personal de campo calificado, como sobrestantes, cabos, operadores; así mismo se debe capacitar a todo el personal sobre el sistema de calidad para obtener un producto con las especificaciones y calidad requerida por el cliente.
- Conocer el proyecto y sus especificaciones.

Descripción del procedimiento.

Condiciones iniciales.

Topografía. Con la finalidad de conocer el volumen a ejecutar y delimitar el área se hace un levantamiento topográfico con la ayuda de una brigada de topografía. Este levantamiento debe ser conciliado y recibido por el cliente.

Tipo de vegetación. Debe conocerse el tipo de vegetación de la zona y específicamente en el que se lleva a cabo el desmonte, lo anterior con el propósito de poder hacer una planeación adecuada de los recursos a emplear.



Desarrollo.

Una vez identificada el área, tanto topográficamente como por el tipo de vegetación existente, se inicia con la tala y roza, misma que puede ejecutarse a mano o con maquinaria, de acuerdo con las especificaciones de proyecto.

Si se hace a mano debe proveerse al personal que ejecuta el trabajo con machetes, hachas y/o motosierra, para que se corten los árboles y arbustos, mismos que no deben quedar a una altura mayor a 0.75 m y 0.40 m respectivamente.

El personal debe utilizar el siguiente equipo de seguridad durante las actividades antes mencionadas: casco, lentes protectores, guantes y botas.

El desmonte con maquinaria, se inicia con la tala a mano, garantizando un mejor rendimiento para el equipo y una mayor seguridad al personal que está laborando; posteriormente se procede con el desenraice, actividad realizada por un tractor con escarificador el cual afloja el terreno y las raíces enterradas en el mismo, con la cuchilla del tractor se limpia y empareja la superficie, finalmente las depresiones que quedan, se rellenan con material de buena calidad, compactando con el mismo tractor, dejando una superficie uniforme.

El personal operador de maquinaria pesada será evaluado de acuerdo al Instructivo de maquinaria.

Una vez desmontado el terreno natural, se procede a extraer con el tractor la capa que contenga materia vegetal, el espesor de esta capa puede variar de 10 cm a 50 cm, y si se requiere debe compactarse el terreno natural, a esto último se le denomina despalme.

El producto del desmonte y el despalme debe almacenarse, para su posterior retiro, este material puede ser desperdicio o material aprovechable en el arroje o formación de los terraplenes, si es o no aprovechable lo determina el proyecto o el cliente.

En cualquiera de los casos, el material se almacena con el tractor y posteriormente se carga con un cargador a camiones volteo, mismos que lo acarrearán hasta el lugar donde el cliente haya destinado, ya sea para su posterior utilización.



Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el Plan de Protección Ambiental del proyecto.

El personal de campo debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Si durante la operación de alguna maquina se presenta un derrame de aceite el operador debe informar de manera inmediata al área de maquinaria.

El Operador debe llevar siempre una charola para su contención y material absorbente como arena o aserrín para esparcirlo sobre el derrame y posteriormente depositarlo en los residuos sólidos peligrosos.

Seguridad.

Toda actividad se realizara acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio ambiente.

2.2.3 Material de aluvión.

El proceso de explotación de los bancos de aluvión debe considerar la remoción de los sobretamaños (boleos con tamaño mayor que 60 cm de diámetro) para lograr la granulometría especificada en planos.

La explotación de aluvión y otras actividades cercanas al cauce de los ríos Grande de Santiago y Bolaños deberán diseñarse y plantearse de tal forma que se cumpla con lo siguiente:

- a) Extraer el material hasta la profundidad máxima posible por debajo del nivel del río (no menor de 8 m o hasta la roca basal, lo que suceda primero). El cucharón del equipo de extracción deberá tener orificios para drenaje del agua.
- b) Aprovechar al máximo el depósito de aluvión.
- c) De acuerdo a las observaciones hidrológicas, se deberán determinar los meses factibles de máxima extracción para que la producción mensual necesaria para cumplir el programa de ejecución se equilibre satisfactoriamente en ese lapso.
- d) El contratista debe realizar estudios para conocer el tránsito de avenidas de los ríos Grande de Santiago y Bolaños y así reducir el riesgo que representa realizar trabajos en las márgenes de esos ríos durante la construcción del proyecto.



Fig. no. 7.- Extracción del aluvión.

2.2.3.1 Procedimiento constructivo de la explotación de bancos de aluvión, acarreo y almacenamiento.

Objetivo.

Describir la planeación y secuencia de explotación de los bancos de aluvión, sus acarreo y almacenamiento.

Alcance.

Este procedimiento aplica para los diferentes bancos de materiales aluviales para la construcción de las obras del P. H. La Yesca.

Información técnica y/o referencias aplicables.

Planos.

- Los planos de ubicación de los bancos de aluvión, materiales impermeables y arcillosos proporcionados por la comisión.

Manuales.

- Manual de Gestión.
- Plan de calidad.



- Reglamento de seguridad, higiene y medio ambiente.

Especificaciones.

- Especificaciones de construcción de obra civil.

Procedimientos.

- Informe geológico
- Localización del sitio de estudio y de bancos de aluvión.

Definiciones.

- BPE: Bueno para ejecución.

Responsabilidades.

Gerente de construcción.

- Revisa y aprueba técnicamente el contenido del procedimiento.
- Gestiona los recursos necesarios para la ejecución de las actividades

Superintendente de construcción.

- Revisa planos, especificaciones y documentos relacionados con la excavación y los tratamientos de taludes.
- Planea y programa la ejecución de los trabajos
- Determina y administra los recursos.
- Coordina la elaboración de los procedimientos de su área.

Jefe de obra.

- Elabora los procedimientos de los trabajos.
- Difunde al personal de su área los procedimientos.
- Aplica y verifica la ejecución de la extracción y almacenaje del material de aluvión de acuerdo a este procedimiento.
- Apoya y fomenta las pláticas previas a las actividades.
- Verifica la ejecución de los trabajos en todo el proceso de explotación de los bancos.



Jefe de frente.

- Coordina y programa los recursos para el cumplimiento de las producciones necesarias de acuerdo al programa de obra vigente.
- Difunde y aplica las políticas de calidad, seguridad y medio ambiente de la empresa.
- Suministra la información al sobrestante, de los programas y necesidades de aluvión.
- Vigila que los trabajos en el río se desarrollen sin la presencia de gastos importantes en el río.

Sobrestante de movimiento de tierras.

- Coordina al personal obrero y es responsable de encomendarle sus tareas diarias.
- Se encarga de coordinar las actividades al inicio y durante el turno para cambiar las condiciones del frente de trabajo.
- Vigila que la producción de los equipos se cumpla de acuerdo con la programación.
- Organiza y expone su personal los lineamientos de las actividades diarias (platicas previas), incluyendo aspecto de producción, recursos, medidas de seguridad y cuidado al medio ambiente.
- Revisa que el destino de los materiales sea el correcto de acuerdo con las necesidades de las ataguías, la cortina o las plantas de procesamiento de agregados.

Chegador de actividades.

- Controlar y reportar las actividades del turno de trabajo usando los formatos previstos.

Antecedentes.

Contar con los permisos correspondientes para la extracción del material, por parte de la CNA.

Contar con los caminos de acceso a la zona de extracción y a la zona de almacenaje.

Contar con los levantamientos topográficos correspondientes.

Los turnos en obras exteriores serán de 10 horas y en obras subterráneas serán de 12 horas. Se trabajará de lunes a viernes dos turnos y los sábados un solo turno.



Procedimiento.

Explotación de bancos de materiales.

Generalidades para la explotación de bancos de aluvión.

Como actividades previas se realizan los trabajos correspondientes a los caminos de acceso y vados necesarios para el manejo del río que permitan las operaciones de extracción, carga, acarreo y almacenamiento de aluvión. Estos vados contarán con terraplenes de acceso a la sección de control que se colocará para el paso del gasto y que consiste en instalar tubos metálicos armables de lámina calibre 1 y de 2.6 m de diámetro, o de las características estructurales y geométricas que sean determinadas por el diseño de detalle.

Otros elementos que permiten aprovechar al máximo el área disponible del cauce, son la construcción de espigones y algunos canales que encausan el río hacia una sola margen.

Periódicamente se efectuará el control topográfico que permita conocer el avance de los volúmenes explotados.

En cada banco se procede con las actividades de delimitación, limpieza, despalle de la capa vegetal y retiro de zonas que presenten alteraciones o condiciones de intemperismo, de tal forma que se garantice mantener las condiciones de aceptación de materiales para su envío a la cortina y la producción de agregados para concreto.

La limpieza de la capa vegetal se hará con tractor sobre orugas. El material producto del desmonte y despalle se dispondrá en los bancos de desperdicio o en bancos de almacenamiento para su posterior uso en las actividades de reforestación.

Balance y secuencia de extracción.

De la revisión de los planos y documentos de licitación, se determinaron las necesidades de aluvión que integran las ataguías y la cortina, así como los volúmenes necesarios para el procesamiento de agregados para concreto y materiales de filtro 2, 2F y F.

Tabla no. 8.- Requerimiento de material.

Descripción	Cantidad	Unidad
Obras de desvío		
Preataguía	131,742	M ³ c
Ataguía aguas abajo	28,097	M ³ c
Bordo Carrizalillo	5,936	M ³ c



Tabla no. 8 cont.- Requerimiento de material.

Descripción	Cantidad	Unidad
Obras de contención		
Atagüa integrada a cortina	609,361	M ³ c
Zona de 3B cortina	2,989,766	M ³ c
Todos los frentes		
Procesamiento de agregados	1,036,790	M ³ b
Suma	4,876,990	M ³ b

M³c: metro cúbico compactado; metro cúbico banco. Esta determinación de volúmenes considera la suma alzada mas precio unitario.

De acuerdo a estos requerimientos se tiene planificado extraer aluvi6n durante las 6pocas de estiaje a lo largo del periodo de construcci6n.

Tabla no. 9.- Plan para extraer aluvi6n.

Año	Periodo	Días efectivos
2007-2008	Diciembre-Junio	164
2008-2009	Octubre-Junio	216
2009-2010	Octubre-Junio	215
2010-2011	Noviembre-Enero	76

ICA 2006

La explotaci6n de aluvi6n se realiza de aguas abajo hacia aguas arriba y se ataca de acuerdo con la siguiente secuencia:

Tabla no. 10.- Explotaci6n de bancos de aluvi6n.

Periodo de Dic. 2007-Jun. 2008			
Banco	Cantidad m ³ b	Año	Periodo
Play6n No 13 Agua Caliente 2	204,008	2008	Dic-Junio
Play6n No 1 Agua Caliente 1	186,976	2008	Enero-Junio
Play6n No 2 El Tajo	15,941	2008	Enero-Junio
Play6n No 12 La Haciendita	539,075	2008	Enero-Junio
Suma 2008	946,000		

m³b= metros cúbicos por banco

Tabla no. 11.- Explotaci6n de bancos de aluvi6n.

Periodo de Oct. 2008-Jun. 2009			
Banco	Cantidad m ³ b	Año	Periodo
Play6n No 16 La Haciendita	50,941	2008	Octubre-Junio
Play6n No 12 El Pango	127,665	2008	Octubre-Junio
Play6n No 23 Arroyo las Higueras	43,155	2008	Octubre-Junio
Play6n No 17 La Araña	11,571	2008	Octubre-Junio



Tabla no. 11 cont.- Explotación de bancos de aluvión.

Periodo de Oct. 2008-Jun. 2009			
Banco	Cantidad m ³ b	Año	Periodo
Playón No 3 El Volantín	319,571	2008	Octubre-Junio
Playón No 10 Paso la Yesca 3	344,776	2009	Octubre-Junio
Playón No 4 Paso la Yesca 1	90,662	2009	Octubre-Junio
Playón No 18 La Lagunita	71,440	2009	Octubre-Junio
Playón No 5 Paso la Yesca 2	203,704	2009	Octubre-Junio
Playón No 6 La Canastilla 2	95,072	2009	Octubre-Junio
Playón No 7 La Canastilla	209,483	2009	Octubre-Junio
Suma 2008-2009		1,568,000	

m³b= metros cúbicos por banco

Tabla no. 12.- Explotación de bancos de aluvión.

Periodo de Oct. 2009-Jun. 2010			
Banco	Cantidad m ³ b	Año	Periodo
Playón No 17 La Canastilla	352,738	2009	Octubre-Junio
Playón No 8 el Charco de la Manta	541,917	2009	Octubre-Junio
Playón No 14 S/N	282,118	2010	Octubre-Junio
Playón No 9 El Toril	168,574	2010	Octubre-Junio
Playón No 15 El Potrero	83,802	2010	Octubre-Junio
Playón No 20 S/N	31,370	2010	Octubre-Junio
Playón No 21 La Higuera	547,245	2010	Octubre-Junio
Playón No 22 La Montaña	124,236	2010	Octubre-Junio
Suma 2009-2010		2,132,000	

m³b= metros cúbicos por banco

Tabla no. 13.- Explotación de bancos de aluvión.

Periodo de Nov. 2010-Ene. 2011			
Banco	Cantidad m ³ b	Año	Periodo
Playón No 11 Juanepantla	29,065	2010-2011	Nov-Enero
Suma 2010-2011		29,065	

m³b= metros cúbicos por banco



El balance de materiales para las ataguías y cortina, así como para la producción de agregados queda como sigue:

Tabla no. 14.- Requerimientos de material para las obras de contención y producción de agregados.

Requerimiento Aluvión	Cantidad	Unidad
Ataguías-Cortina	3,840,200	M ³ b
Producción de agregados	1,036,790	M ³ b
Suma	4,876,990	M ³ b
Origen		
Río Santiago-Bolaños	4,675,064	M ³ b
Excavaciones	80,261	M ³ b
Suma	4,755,325	M ³ b
Faltante	121,665	M ³ b

m³b= metros cúbicos por banco

Como se aprecia en el cuadro anterior se tiene un faltante de material que tendrá como origen el mismo río Santiago, producto de los recargues en cada época de lluvias.

De acuerdo con los requerimientos de los frentes de trabajo, desvío, contención y plantas de agregados, se realizó un programa de extracción que garantiza la suficiente existencia de material disponible aún en épocas de inundación en el río, por lo que la previsión del volumen de almacenamiento de aluvión corresponde a 1,386410 m³ a lo largo de los periodos de estiaje.

El proceso de extracción se realiza con retroexcavadoras sobre orugas con capacidad de ataque para una profundidad de 8m. Para las zonas donde se tengan espesores mayores a un metro por arriba del espejo de agua y posteriormente se profundiza con todo el alcance de la retroexcavadora agotando los bancos en forma vertical antes que horizontalmente, hasta completar el espesor deseado o encontrar la roca, lo que suceda primero.

Una vez cortado el material por la retroexcavadora se carga sobre volteo pesado fuera de carretera con capacidad de 50 ton, que lo transporta a la zona de almacenaje en la plataforma B-1MD, el material se descarga sobre un equipo de trituración primario 97 x 147 cm (38" x 58") que lo procesa para su envío al banco de almacén o preferentemente a tiro directo a las zonas de colocación en la cortina. Durante las actividades de explotación se forman rampas para que los camiones al salir de los bancos, eliminen la mayor parte del agua en el material, misma que será canalizada nuevamente al río.

En las zonas de almacenaje se descarga el material y se conforma en capas con tractor sobre orugas a fin de evitar la segregación.

Se realizan campañas de muestreo para evidenciar las granulometrías de los materiales extraídos a fin de garantizar el cumplimiento de las especificaciones.



Si el material producto de la excavación no cumpliera las especificaciones aplicables, debe dejarse debidamente identificado en el mismo sitio del banco.

Cuando los niveles en el río no permitan la extracción, se utiliza material previamente almacenado.

Explotación de bancos de arena limosa.

Con base al estudio geotécnico de los bancos de arena limosa, se han considerado la extracción de este material para su uso en las obras de contención en el material 1B y en la producción de los materiales procesados 2, 2F y F.

Al igual que en los bancos de aluvión, se realizarán las gestiones necesarias para efectuar la explotación de cada banco.

Se realiza la delimitación, el despalme y retiro de la capa vegetal en el espesor necesario que permite encontrar el material en las condiciones aceptadas por el área de control de calidad.

Por la ubicación de los bancos en las zonas aledañas al cauce, se dará prioridad a la explotación de material areno limoso durante la primera época de estiaje con el fin de optimizar la potencia de los bancos y almacenarlo correctamente en el banco 1MD por arriba de la cota 425,00 msnm.

El proceso de explotación se realiza con retroexcavadora sobre orugas que corta y carga el material sobre los camiones de volteo que lo transportan a la zona de almacenaje, donde se descarga y se conforma en capas, formando pilas de almacenamiento que se protegen de tal forma que se evite durante la época de lluvias incrementos en la humedad natural. Estas acciones de protección consisten en dar pendiente en la última capa de la pila para facilitar el corrimiento de la lluvia, así también sellado superficial de la última capa con el paso del vibrocompactador, y finalmente se cubre con lonas.

El área de control de calidad realiza las pruebas necesarias para garantizar las condiciones de aceptación del material previa a su envío a las zonas de almacenamiento.

Tabla no. 15.- Explotación de bancos de aluvión.

Bancos Disponibles	Cantidad	Unidad
Agua Caliente 1	220,000	M ³ b
Agua Caliente 2	9,000	M ³ b
La Parcela	46,000	M ³ b
Suma	275,000	M ³ b

m³b = metros cúbicos por banco



Recursos.

- Mano de obra.
- Cabo de movimiento de tierras.
- Operador de retroexcavadora sobre orugas.
- Operador de volteo pesado fuera de carretera 50 ton.
- Operador Tractor sobre orugas.
- Ayudantes.

Materiales.

- Tubería metálica varios diámetros.
- Herramienta y equipo menor.

Maquinaria.

- Retroexcavadora sobre orugas.
- Camión fuera de carretera.
- Tractor sobre orugas.

2.2.4 Plantas de trituración.

A fin de aprovechar lo máximo de aluvión extraído para satisfacer las necesidades de concreto en los meses iniciales, se instalará de manera provisional una planta de trituración parcial, que funcionarán hasta que se termine la instalación de las plantas definitivas.

La planta de trituración, tanto parcial, como la definitiva estarán localizadas en la margen derecha.

El proceso de trituración incluirá la clasificación y el almacenamiento de los agregados para la fabricación de concretos, o bien, para su disposición en el cuerpo de la cortina, según sea requerido.

Los agregados se clasificarán en tres tamaños de acuerdo a la norma ASTM C-33: grava 2 (1 ½”), grava 1 (¾”) y arena, para lo cual se usarán plantas de cribado. El proceso de clasificación será por vía húmeda.

La planta de trituración es del tipo fijo, con una capacidad nominal de procesamiento de 220 m³/hora en total, 150 m³/hora de grava (1 y 2) y 70 m³/hora de arena.



Fig. no. 8.- Vista panorámica de la planta de trituración.

2.2.4.1 Procedimiento para la obtención de agregados para la producción de concretos y filtros para la cortina (material 2, 2F y F).

Objetivo.

Describir todas las actividades relacionadas con los trabajos para la trituración, clasificación y almacenamiento de los agregados para la elaboración de concretos y mezclas de los materiales 2, 2F, y F requeridos en la construcción de la cortina.

Alcance.

El procedimiento aplica para todas las actividades relacionadas con la trituración, clasificación y almacenamiento de los agregados para concreto hidráulico y los materiales 2, 2F, y F para la cortina del P.H. La Yesca.

Información técnica y/o referencias aplicables.

Planos:

- Plano de la instalación de las plantas.

Manuales:

- Planes de calidad.
- Planes de seguridad.
- Fichas técnicas de las plantas de trituración.



Normas y especificaciones:

- Normas requeridas por la comisión.
- Especificaciones de construcción de obra civil del P.H. La Yesca.

Definiciones.

- ASTM: Sociedad Americana de Ensayos de Materiales.
- Grava 2: Clasificación ASTM, material pétreo con tamaños de 1 ½" a ¾".
- Grava 1: Clasificación ASTM, material pétreo con tamaños de ¾" a 4mm.
- Arena natural: Arena de río lavada y cribada a tamaño máximo 3/16" (4mm).
- Arena C-33: Arena triturada.
- Arena gruesa: Arena gruesa producto de trituración.
- Filler: Material de limo arenoso, producto de banco de préstamo o del producto del lavado del proceso de trituración.

Responsabilidades.

Superintendente de plantas.

- Revisa el programa de trabajo para prever y suministrar los recursos necesarios al frente de la producción.
- Revisa el procedimiento llevado en campo de acuerdo a lo descrito en el presente.

Jefe de plantas.

- Coordinar y programar los recursos para el cumplimiento de las producciones necesarias de acuerdo al programa de obra vigente.
- Controlar el costo diario de producción a fin de identificar las desviaciones y tomar las acciones preventivas o correctivas que eviten el incremento de costos por encima de lo preformado.
- Instruir y capacitar el personal a su cargo para desarrollar los trabajos dentro de un marco de seguridad y eficiencia.
- Mantener comunicación con el responsable del área de seguridad para coordinar los trabajos, reduciendo riesgos para el personal propio y terceros.
- Suministrar la información al encargado y a los operadores de las plantas, de los diagramas de flujo a utilizar.



Encargado de plantas.

- Mantener la planta limpia y en condiciones de operación.
- Asegurarse que el personal cuente con los equipos de protección personal.
- Controlar los tamaños y formas de los productos de acuerdo a la información proporcionada anticipadamente.
- Controlar y reportar las actividades del turno de trabajo.

Control de calidad.

- El laboratorio realiza los muestreos y ensayos de acuerdo al plan de inspección y pruebas para asegurar que los diferentes tipos de agregados cumplen con los requisitos técnicos.
- Verifica la existencia de cada uno de los materiales del equipo y del personal requerido para asegurar la producción.

Responsabilidades generales.

- Todo el personal ejecutivo, técnico, administrativo y obrero que interviene en la aplicación de este procedimiento esta obligado a realizar cualquier actividad usando el equipo de protección personal establecido por el área de seguridad.
- Todo el personal ejecutivo, técnico, administrativo y obrero que interviene en la aplicación de este procedimiento esta obligado a cumplir y hacer cumplir el manifiesto de impacto ambiental.

Antecedentes.

Tener aprobados los bancos para la obtención de los materiales.

Descripción del procedimiento.

Descripción general.

Las actividades que se describen se realizarán para la trituración, clasificación, almacenamiento de agregados para concreto hidráulico y los materiales 2,2F y F para la cortina.

Los materiales para la cortina se obtendrán por mezclas de los agregados pétreos que a continuación se detallan; grava de 1 ½" a finos y filler la arena natural obtenida en este procedimiento será exclusivamente para la elaboración de concretos. En este proceso se utilizan turnos de 10 hrs.



Trituración y clasificación de agregados.

Las plantas serán alimentadas con los materiales de los bancos que fueron previamente autorizados para tal fin.

Previo a la instalación de las plantas de trituración y clasificación de materiales, se nivela y compacta el terreno natural y se construyen los cimientos para las bases de las trituradoras sobre las cuales estarán apoyadas para asegurar la eficiencia de las mismas.

Los materiales se obtendrán por trituración parcial y total de los bancos de aluvión ubicados en el lecho del río aguas arriba de la cortina, se clasificarán en los siguientes tamaños: grava 2, grava 1, arena natural y arena triturada, utilizando distintas mallas en las cribas, en algunos casos el proceso de clasificación será por vía húmeda.

Etapa primaria: El material una vez recibido de los bancos de aluvión y/o almacén, es descargado en la tolva de alimentación a la trituradora primaria 36" x 48", en esta se separan los tamaños que puede recibir la trituradora secundaria, por medio de un alimentador vibratorio Grizzly 60" x 22', los cuales caen directamente sobre una banda de 42" x 80', los tamaños mayores pasan a las muelas del primario 36" x 48", en donde son triturados a tamaños aceptables para la trituradora secundaria, este material se descarga sobre la misma banda de 42" x 80" en la salida de las muelas del primario y ambos productos son transportados por medio de esta banda donde se procede a la segunda etapa en la cual se tienen dos procesos por separado para el material procedente de los primarios. El primero es llevar el material que pasó por el Grizzly del alimentador y por medio de la banda 30" x 102' por una criba N°1 vía húmeda 8' x 24' que cuenta con tres pisos. Los pisos tienen mallas de 1 1/2", 3/4" y 4 mm, el material retenido en la malla de 1 1/2" es transportado por una banda 24" x 60' a la banda 42" x 80' que a su vez descarga al molino secundario y los materiales que pasan las mallas de 1 1/2" y 3/4" y es retenido en la malla No. 4 cae a un gusano lavador 54" x 36' que tiene la función de separarle el agua y el excedente de finos a la arena la cual también es transportada por la banda radial 24" x 180' para su almacenamiento, cabe mencionar que las arenas se clasifican en dos tipos arena natural y arena triturada, la arena natural sale del proceso de cribar material de aluvión y las arenas trituradas es el resultado de la trituración de piedra aluvión.

Etapa secundaria: El segundo proceso para el material procedente del primario es transportado por la banda 42" x 80' a la trituradora secundaria la que después de reducir el tamaño de los materiales los pasa por medio de la banda 30" x 80' al reducir el tamaño de los materiales los pasa por medio de la banda 30" x 80' a la trituradora secundaria que trabaja a circuito abierto ya que la clasificación de las gravas se realizará en la etapa terciaria.



Etapa terciaria: Se alimenta a la criba No 2 del terciario con el material de la trituradora a la criba No 2 de 8' x 20' para ser procesado en seco cuenta con 3 camas la cual tiene mallas de 1 ½", ¾" y No 4 el material que no pasa la malla de 1 ½" cae directamente al cono terciario FC que después puede tener dos procesos: el primero para la producción de agregados descarga a la banda de 24" x 100' para llevar el material a la criba No 3 vía húmeda 8' x 24' de tres pisos con mallas de 1 ½", ¾" y No 4 el material que no pasa la malla de ¾" se envía, como producto y mediante la banda 24" x 260' a la pila de almacén de grava 2 de 1 ½", lo que no pasa la malla No 4 se envía por la banda 24" x 260" a la pila de producto de grava 1 de ¾"; el material del No 4 a 0 pasa al gusano lavador de arena 36" x 25' a la banda 24" x 60' se seca en el secador de arena para luego mediante bandas unirlo con otros materiales dosificados mediante compuertas al almacén de grava de 1 ½" a finos. El segundo proceso para la elaboración de filtros se envía mediante la banda 30" x 60' el material a la banda 30" x 102' para almacén de grava de 1 ½" a finos. Los dos procesos anteriores son con el material que no pasa la malla de 1 ½" en la criba No 2, además el material que pasa 1 ½" pero no la de ¾"; en el caso de producción de agregados se divide 40% hacia la criba No 3 para gravas 1 y 2, el material en diferencia (60%) se envía para grava de 1 ½" a finos, en la producción de filtros el 100% se pasa para grava de 1 ½" a finos. Con los tamaños de ¾" a No 4 en la producción de agregados se envía 100% a la criba No 3 a través de una banda transportadora 24" x 40', para el material que pasa la malla No 4 en la criba No 2, en ambos procesos se pasa 100% a la grava de 1 ½" a finos.

Trituración de arena C-.33; Se alimenta a la criba No 4 vía seca de (8' x 20' de 2 pisos con el 50% de las mallas del No 4 y el 50% de malla de ¼" en el primer piso y No 10 en el segundo piso, esta malla es de acero inoxidable y con sistema de calentamiento para evitar el taponamiento) con el material de la pila de almacén de grava de 1 ½" a finos producto de las etapas secundaria y terciaria a través de una banda transportadora de 30" x 80' que salen del túnel de recuperación a una segunda banda de 24" x 150', los materiales que pasan por encima de las mallas No 4 y No 8 pasan a la trituradora de arena, el material que pasa la malla No 10 cae a un gusano lavador de 54" x 34' y luego a una banda que lo transporta al almacén de arena C-33, el sobretamaño de la malla No 4 es triturado por el cuaternario HP-300 y retorna a la criba, la trituradora HP-300 opera en circuito cerrado.

En el proceso de la trituración y clasificación se usa agua para el lavado de los materiales, condición para la obtención de gravas para concretos, el agua es distribuida desde el tanque de almacenamiento superior o cualquier otra de las cribas, esta agua también realiza la función de mitigar las emisiones de polvos, en caso de ser necesaria más mitigación de polvos, se instalan aspesores en las caídas de las bandas transportadoras en la medida que sean necesarios.



El agua para el lavado de los materiales es bombeada desde el río hasta una pila de almacenamiento general que se tiene a cielo abierto en un área específica, para luego ser distribuida por gravedad a las plantas de trituración y clasificación.

Una vez utilizada el agua en el lavado, esta es canalizada por medio de tuberías donde se procesa por medio de un equipo de separación de sólidos (equipo Derrick) en que separa el agua a los sólidos mandando el agua a un sistema de sedimentación y posteriormente a un cárcamo para su rebombeo al almacén general para ser nuevamente utilizada.

El conjunto de todas las plantas es alimentado por medio de líneas de la comisión.

2.2.4.2 Producción de filtros para la cortina: material 2, 2F y F.

Para lograr el cumplimiento de la granulometría especificada en los filtros (material 2, 2F y F) para la cortina, se contará con un *estabilizador*, con cuatro tolvas de alimentación.

Actualmente, la mayoría de los proyectos especifican para la mezcla del suelo la utilización de una planta estabilizadora. Este procedimiento es adecuado para proyectos que establecen el uso de materiales transportados.

Estas plantas están especialmente diseñadas para la preparación de suelos compactables (suelo estabilizado) para bases y sub-bases, a través de dosificación de finos y grava-arena y humedad adecuadamente mezclados.

La planta estabilizadora esta formada por:

- Tolvas dosificadoras de grava-arena.
- Tolvas dosificador finos
- Cinta transportadora de carga a mezclador.
- Mezclador continuo con dosificación de agua.
- Cinta transportadora de mezclador a tolva de descarga.



Fig. no. 9.- Mezclador continuo con dosificación de agua.



Fig. no. 10.- Tolvas dosificadoras de grava-arena y finos.

En el procedimiento de mezcla en obra, el equipo es normalmente denominado mezcladora en sitio o estabilizador. La mezcladora es capaz no sólo de mezclar el



suelo con las gravas sino también de pulverizar los conglomerantes de suelo en partículas finas, de aquí el término estabilizador de materiales.

El diseño especial de los dientes cortadores y de las paletas mezcladoras contribuye al proceso de estabilización.

La pulverización es prácticamente valorable cuando los suelos a estabilizar contienen cantidades apreciables de arcilla. El mezclado de los suelos arcillosos puede ser dificultoso y su pulverización es necesaria para alcanzar la completa mezcla de partículas individuales de grava-arena con finos.

2.2.4.3 Procedimiento para la estabilización de materiales para filtros (materia 2, 2F y F).

Descripción del procedimiento.

Descripción general.

Las actividades que se describen se realizarán para la mezcla de los materiales 2, 2F y F para las ataguías y cortina del P.H. La Yesca.

Los materiales para la cortina se obtendrán por mezclas de los agregados pétreos que a continuación se detallan; grava de 1 ½" a 0, y filler, ¾" y arena. En este proceso se utilizan turnos de 10 hrs.

Mezclado y clasificación de agregados.

La planta de estabilización será alimentada con los agregados de los almacenes de producción de la planta de trituración.

Previo a la instalación de la planta de estabilización, se nivela y se compacta el terreno natural y se construyen los cimientos para las bases de los equipos, sobre las cuales estarán apoyadas para asegurar la eficiencia de los mismos.

Material filler: se obtiene directamente de los bancos de limos arenosos, mediante la carga de este material a los camiones de volteo, también se obtienen de la recuperación del lavado por medio de un equipo de separación de sólidos (equipo Derrick).

Cuando se llenen los almacenes de los agregados y sí los mismos son aprobados por laboratorio, los agregados son retirados a otros sitios previamente determinados o directamente a la planta estabilizadora, caso contrario son retirados y depositados en el banco de desperdicio o se reprocesan.



Almacenamiento de agregados.

Se hará de forma que no queden alteradas sus características ni sufran ningún deterioro sus formas o dimensiones, por lo que es sumamente preciso que los medios utilizados para el transporte no produzcan disgregaciones de los agregados, ni alteraciones de su homogeneidad. Los sitios para el almacenamiento de agregados se ubicarán en el mismo sitio donde sea instalada la planta de trituración y clasificación de los mismos, así como un lugar determinado en la planta estabilizadora.

Una vez elegido el lugar para el almacenamiento de los agregados, este se rellena, nivela y se compacta la superficie para evitar que se produzcan contaminaciones de los agregados con el terreno natural, debido a baches que se forman por la humedad contenida en los agregados por el lavado del proceso de la trituración y clasificación, o por lluvias proyectando para ello drenes por medio de pendientes en el desplante del almacén, los cuales canalizan las aguas de las filtraciones a las corrientes naturales. Cuando se retira el material almacenado se dejará una capa aproximada de 5 hasta 30 centímetros del agregado almacenado, para no contaminar el material de desplante del almacén. Las plataformas de los almacenes definitivos y los de la planta estabilizadora se revestirán con una capa de concreto pobre.

Recepción y transporte del material clasificado; cuando el proceso de trituración y clasificación se llena un cono de cualquier tipo de material (grava 1 ½" a 0, grava 2, grava 1 o arenas) es verificado, si no cumple el material es depositado en otra área o reprocesado, si cumple, es movido por un cargador y/o tractor sobre orugas y es acomodado en el depósito general del tipo de material que se trate, si la distancia entre el cono y el depósito es lejana se usaran camiones para el transporte.

Almacenamiento: Para la arena se realiza formando una rampa con el mismo material, cuidando que la altura del almacén no cree segregaciones, realizando las pilas que sean necesarias. Los almacenes de las gravas se realizan formando capas horizontales, las cuales son extendidas preferentemente con un cargador evitando la contaminación de los neumáticos o con un tractor sobre orugas.

De ser necesario, los agregados a utilizar en la planta de estabilización serán cubiertos de la intemperie con nylon, cubriendo la necesidad mínima de al menos un día de estabilizado.

A las plataformas de los almacenes de agregados se les realizan drenes por medio de pendientes, para la captación de las aguas producto del lavado, así como las lluvias, esta agua se canaliza a las corrientes de agua.



Estabilizado de mezclas.

De acuerdo a los distintos materiales de la cortina se tiene diferentes dosificaciones para cada uno de ellos, ver la tabla con dosificaciones.

Tabla no. 16.- Dosificaciones recomendadas para los distintos tipos de filtros.

MATERIAL	GRAVA 1 ½" a FINOS	GRAVA ¾"	ARENA TRITURADA	LIMO	SUMA
2	84%	0%	0%	16%	100%
2F	65%	0%	15%	20%	100%
F	0%	30%	70%	0%	100%

ICA 2006

Los materiales son cargados por medio de un cargador sobre neumáticos a la planta estabilizadora, esta tiene cuatro tolvas para la recepción de los materiales, cada tolva tiene una boquilla por la que sale la cantidad de material que se requiere para completar la mezcla, los materiales son transportados por una banda al mezclador de paletas de la planta estabilizadora, donde se mezclan los materiales homogéneamente, además se les proporciona la cantidad de agua con un punto por encima del óptimo, una vez mezclado el material, éste cae a otra banda y lo lleva a un almacén y se transporta a un almacén general, posteriormente se cargan los camiones que lo transportan al sitio de colocación dependiendo del material que se trate.

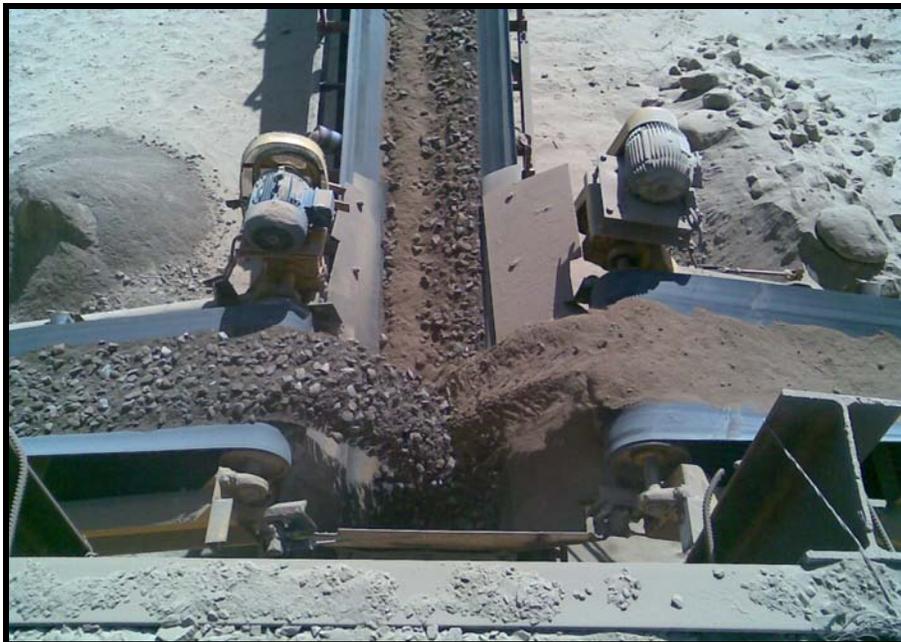


Fig. no. 11.- Banda transportadora de materiales hacia el mezclador.



Cuando el diseño de la mezcla requiera más de cinco materiales (agregados), se mezclan fuera del estabilizador dos de ellos, obviamente los de menor porcentaje.

La planta estabilizadora es calibrada por el laboratorio previo a la colocación de los materiales descritos, realizándose las pruebas que sean necesarias por cada tipo de material.

En las compuertas de las tolvas de la planta estabilizadora se marcan las aberturas que deberán de tener por cada tipo de material a mezclar.



Fig. no. 12.- Descarga del producto final obtenido (material 2).

2.2.5 Material de enrocamiento.

El contratista debe tener en cuenta que la extracción y el procesamiento de la roca sana para la cortina son simultáneos con la ejecución de otras estructuras del proyecto, y que no deben alterar el programa de construcción del resto de las obras.



Fig. no. 13.- Extracción del aluvión en el canal de desfogue.

2.2.5.1 Procedimientos para excavaciones a cielo abierto.

Objetivo.

Describir todas las actividades relacionadas con los trabajos de excavación a cielo abierto.

Alcance.

Este procedimiento aplica para todas las excavaciones a cielo abierto de las estructuras del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca en material suelto y roca.

Información técnica y/o referencias aplicables.

Planos:

- Los planos de construcción proporcionados por el área de ingeniería en su última revisión para las excavaciones a cielo abierto.

Manuales:

- Manual de Gestión.
- Plan General de Calidad.



- Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente.
- Ley federal de armas de fuego y explosivos.

Especificaciones.

Estudio Técnico Justificativo para el cambio de uso de suelo de terrenos forestales, Manifestación de impacto ambiental del P.H. La Yesca.

Definiciones.

- Factor de carga: cantidad de explosivo utilizado por unidad de volumen, se expresa en kg/m³.
- Datos de construcción: Información topográfica necesaria, marcada en el campo para ejecutar las excavaciones.
- Balconear: Forma en que se acomoda el material producto de las excavaciones en las zonas de desperdicio.
- Precorte: Proceso de perforación y voladura utilizado para un mejor perfilamiento del talud, consistente en disminuir la concentración de explosivo y mayor densidad de barrenos con relación a la plantilla de barrenación común.
- Amacize: Saneamiento y perfilamiento del talud expuesto después de efectuada la voladura (Proceso realizable por medios mecánicos ó manuales).
- Rezaga: Actividad consistente en efectuar la remoción del material producto de las excavaciones.

Responsabilidades.

Gerente de construcción.

- Revisa y aprueba técnicamente el contenido del procedimiento.
- Gestiona los recursos necesarios para la ejecución de las actividades.
- Responsable de la seguridad y medio ambiente a través de los titulares del área.

Superintendente de construcción.

- Revisa planos, especificaciones y documentos relacionado con la excavación de las estructuras a cielo abierto.
- Planea y programa la ejecución de los trabajos.
- Determina y administra los recursos.
- Coordina la elaboración de procedimientos de su área.



Jefe de obra.

- Elabora los procedimientos de los trabajos.
- Difunde al personal de su área los procedimientos.
- Aplica y verifica la ejecución de la excavación de las estructuras a cielo abierto de acuerdo a este procedimiento.
- Apoya y fomenta las pláticas previas a las actividades.
- Elabora la plantilla de barrenación y voladura, calculando explosivos y artificios necesarios.
- Verifica la ejecución de los trabajos en todo el proceso de excavación.
- Entregar al Departamento de Seguridad y Salud en el trabajo el programa semanal de voladuras.
- Entregar al Departamento de Seguridad y Salud en el trabajo con 24 horas de anticipación la autorización de actividades de alto riesgo anexando plantilla de carga por evento.

Jefe de frente.

- Coordina y programa los recursos para el cumplimiento de las producciones necesarias de acuerdo al programa de obra vigente.
- Instruir y capacitar al personal a su cargo para desarrollar los trabajos dentro de un marco de seguridad y eficiencia.
- Mantiene comunicación con el responsable del área de seguridad para coordinar el momento de las detonaciones, a fin de procurar en lo posible que el manejo de explosivos y detonación sea en perfecta coordinación, reduciendo riesgos para el personal propio y terceros.
- Presenta oportunamente la información correspondiente a los esquemas de barrenación a la supervisión.
- Suministrar la información al capataz, de las plantillas de barrenación y factor de carga previsto.
- Coordina con el geólogo la planificación de las acciones para efectuar los tratamientos de los taludes excavados.
- Es responsable del cumplimiento de la seguridad en su área.

Geólogo.

- Revisa y analiza las características del tipo de material en los taludes excavados a fin de proponer las medidas de amacize y sostenimiento que mejoren la estabilidad de la excavación.
- Coordina con el Jefe de Frente la planificación de las acciones para efectuar los tratamientos a los taludes.
- Es responsable de informar de fallas geológicas importantes así como peligros inminentes.



Sobrestante movimiento de tierras.

- Coordina con el capataz de perforación y voladuras la secuencia de excavación a fin de garantizar el acceso del equipo de perforación y asegurarse que la superficie por barrenar este debidamente libre de material suelto.
- Platica diariamente con su personal al inicio de la jornada de trabajo sobre aspectos de seguridad.

Sobrestante de perforación y voladuras.

- Coordina y programa las actividades de perforación, así como dispone y ordena el retiro de los artificios y explosivos para su exclusivo uso, igualmente comprueba que el explosivo sobrante sea devuelto al polvorín y ejecuta las perforaciones de acuerdo con las plantillas de barrenación autorizadas.
- Platica diariamente con su personal al inicio de la jornada de trabajo sobre aspectos de seguridad.

Antecedentes.

Para ejecutar cualquier excavación considerada por este procedimiento, se deben prever las actividades de marcaje de datos de construcción en campo de acuerdo con los planos aprobados.

Contar con acceso a las diferentes estructuras para el inicio de los trabajos de excavación.

El personal que labora en estas actividades debe ser capacitado en el uso y manejo de explosivos, que cuenten con experiencia previa que permita un nivel adecuado de conocimiento en el manejo de explosivos.

Uso seguro de explosivos, autorización de alto riesgo e identificación de peligros.

La sección y pendiente debe ser la que asegure la funcionalidad de la vialidad y limite las afectaciones al ambiente por concepto de erosión y balconeo de material.

El suelo orgánico recuperado cuando sea posible y no este destinado para recuperación de algún sitio se puede distribuir inmediatamente, mezclándolo de forma conveniente con el material de los terrenos colindantes.



Descripción del procedimiento.

Previo al inicio de los trabajos de excavación, deberá considerar lo siguiente:

- Proporcionar programa semanal de voladuras al Departamento de Seguridad y Salud en el Trabajo
- Deberá de solicitar y entregar al Departamento de Seguridad y Salud en el trabajo la autorización actividades de alto riesgo.
- Para ejecutar cualquier excavación considerada por este procedimiento Se deben apegar a lo establecido en el reglamento de seguridad, higiene y medio ambiente.
- Previamente al inicio de los trabajos, se deberán realizar en la zona en las que se realizara el despalme, con la finalidad de identificar, ubicar y revisar madrigueras, nidos e individuos presentes. Los organismos que se encuentren serán ahuyentados y/o reubicados en la zona.
- Delimitar el área de trabajo con marcas visibles como estacas cintas o trazas con cal. El desmonte debe realizarse únicamente en la zona delimitada. El material retirado debe ser triturado y colocar en las zonas de almacenamiento junto con la capa de suelo orgánico.
- Contando con el acceso a la zona de ejecución de los trabajos y marcados en campo los datos topográficos conforme a los procedimientos para la guía del equipo de construcción, se procede con las actividades propias de excavación como a continuación se describe:
- El Geólogo de Campo revisa y analiza las condiciones de los materiales en los taludes previo a la excavación a fin de proponer los tratamientos que mejoren las condiciones de estabilidad en caso de existir alguna condición particular o de mantener el tratamiento de diseño.
- El sobrestante encargado del frente de trabajo, verifica conjuntamente con los operadores los niveles de corte y la proyección del talud con la finalidad de controlar el avance de excavación manteniendo en lo posible la línea de proyecto.



Excavación material suelto.

Los cortes se realizan con Tractor sobre orugas y/o Retroexcavadora, estos equipos serán los encargados de ejecutar las excavaciones perfilando el talud de acuerdo a los datos topográficos marcados. Con base a la topografía de cada frente de excavación, en los cortes iniciales se balconea el material producto de la excavación hasta los niveles en los que sea posible realizar plataformas para los sitios de carga. Dicha plataforma contará con el área necesaria para que los equipos de carga y acarreo trabajen sin limitaciones de espacio.

Acopiado el material sobre el talud y la plataforma de trabajo, para el caso de utilización de Tractor sobre orugas en el corte, la carga del material se ejecuta con Cargador frontal ó Retroexcavadora, este equipo carga el material sobre camiones de volteo y/o volteos pesados (fuera de carretera), mismos que transportan el material hasta la zona de utilización en los terraplenes de la presa, el almacén previsto o el botadero asignado para su desperdicio, transitando por los caminos de construcción. Para el caso en que los cortes se realicen con Retroexcavadora, este mismo equipo será el que ejecute la carga de camiones.

Una vez que el material se encuentre en su destino se descarga de los equipos de transporte. Para el caso de los botaderos asignados, se procurará que los sitios permitan balconear el material, cuando no sea posible se contara con un tractor sobre orugas para conformar el botadero y permitir la descarga en forma continua.

Excavación roca.

Para desarrollar esta actividad se solicita al topógrafo el marcaje de los niveles pendientes de corte para llegar a los niveles de berma o piso así como el tipo de talud, con esta altura se modula el banqueo. Esta perforación se realiza con una perforadora sobre orugas (Track-Drill) alimentada por un compresor de aire, o hidráulica autopropulsada, estos equipos barrenan sobre la superficie expuesta iniciando por la fila adjunta al talud dando el grado de inclinación a la pluma para cumplir con la línea de proyecto, así mismo se realiza la distribución de barrenos de acuerdo a la plantilla de barrenación autorizada para la extracción de la roca, dependiendo del diámetro de broca seleccionado ($d=3''$), altura de banco, espaciamiento y tipo de roca. El precorte se realiza en la primera línea adjunta al talud de acuerdo con el espaciamiento que depende del diseño de la voladura.

Carga de barrenos: Una vez que se tenga área suficiente para la carga de barrenos se puede iniciar esta actividad. Los barrenos son cargados con explosivos que pueden ser de dos tipos (alto y bajo explosivo), el primero de ellos se usa para la carga de fondo y el segundo para la carga de columna, distribuidos porcentualmente de acuerdo con el factor de carga seleccionado para la voladura. Los artificios y explosivos son llevados al frente de trabajo desde el sitio de



almacenaje (polvorín), por medio de un transporte designado especialmente para este fin. Previamente se revisa cada barreno para verificar que se encuentre limpio, en caso de encontrar alguno obstruido, se sopletea con aire comprimido para limpiarlo, seguidamente se inicia la carga, colocando primeramente el alto explosivo en el fondo del barreno, mismo que es amarrado por un detonador no eléctrico y/o cordón detonante, los mismos sirven para bajar el primer cartucho hasta el fondo. Posteriormente se coloca el bajo explosivo (anfo) hasta la altura que garantice la cantidad de explosivo por m³ de acuerdo al factor de carga. Al final queda una longitud de barreno sin cargar (taco) que se rellena con material producto de la perforación mismo que se compacta por medio de un taqueador hasta el nivel superior del barreno.

Voladura: Una vez que se tienen todos los barrenos cargados se inicia la conexión asegurando que ningún barreno quede fuera del circuito, al final el último barreno se conecta al fulminante inicial, este a su vez se conecta a la mecha lenta o a la línea de cable eléctrico que conduce la chispa de inicio desde el explosor hasta el primer barreno. Terminada la conexión se revisa nuevamente que todos los barrenos estén conectados, se retira el explosivo y artificios sobrantes, se retira el equipo de construcción y al personal. Despejada el área se da aviso a los demás frentes de trabajo, finalmente se suena la sirena que anuncia previamente la detonación de la voladura, disparando así el explosor o prendiendo la mecha lenta según sea el caso. Después de la detonación se espera la dispersión de gases y polvo, se procede a revisar la zona para verificar que el efecto de la voladura sea el esperado.

Rezaga: Como etapa final del ciclo de trabajo para la excavación en roca, se realiza la rezaga del material hasta volver a descubrir nuevamente la capa de material rocoso, que permita continuar con la perforación, al igual que lo descrito para el material suelto se definirá el destino del material en base a las necesidades de colocación de la presa, o almacenaje en los sitios previstos para este fin, o desperdicio en el botadero.

Tratamientos: De acuerdo a las observaciones del geólogo, se remueve el material producto de la voladura hasta la altura que permita efectuar los tratamientos a los taludes con el equipo de construcción asignado para esta actividad.

Amacize: Se realiza el amacize por medios mecánicos que consisten generalmente en la incorporación de una Retroexcavadora sobre Orugas para remover los materiales sueltos después de excavados los taludes.

Lo referente a la rezaga de material se efectúa por medio de Cargador frontal y/o Retroexcavadora de acuerdo con el grupo de maquinaria asignado a cada frente de trabajo.



La cuadrilla de topografía realiza en forma previa el levantamiento de secciones correspondientes al terreno natural, así como secciones de inicio de roca después de excavar el material suelto. Los controles topográficos y geológicos se deben efectuar en forma cotidiana para verificar el alineamiento de los taludes de acuerdo con el proyecto y las condiciones de estabilidad.

Para el caso del acarreo de materiales cuando se utilicen camiones particulares, se requiere el control diario de los viajes realizados, de acuerdo con los controles que establezca el área de fletes. La obtención de las cantidades de acarreo ejecutadas en los periodos de estimación pactados en el subcontrato correspondiente, se realiza con base a la cubicación de las cajas de cada transporte, multiplicado por el número de viajes reportado y por la distancia de acarreo. Esta información debe ser revisada diariamente por el jefe de frente o responsable del área.

El confinamiento de rezaga, residuos de concretos y residuos de excavaciones, cortes y nivelaciones se debe efectuar en los bancos de desperdicio ya establecidos, conforme al ordenamiento de la infraestructura.

Durante el proceso de formación de los bancos de desperdicio y/o de almacenamiento se debe evitar la dispersión del material que se deposite y seguir la configuración establecida para asegurar su estabilidad y facilitar las labores de restauración.

En las áreas donde se identifique un arrastre de escurrimientos y sedimentos hacia el río derivados de las excavaciones del proyecto del depósito de materiales en bancos de almacenamiento o desperdicio, se implementaran drenajes y represas filtrantes de acuerdo con el gasto e intensidad del escurrimiento.

Los residuos generados por las actividades en zona de excavaciones peligrosas (residuos de mantenimiento de equipo o posibles derrames) y no peligrosos (basura, chatarra, etc.) deberán manejarse conforme a los programas particulares establecidos para el proyecto.

2.2.5.2 Plantas de procesamiento de materiales 3B, T y 3C para la cortina.

Con la finalidad de aprovechar al máximo el potencial de los bancos de extracción para el material 3B de la cortina, el boleo mayor a 48,3 cm (19") se procesará con una trituradora primaria de 97 x 147 cm (38" x 58"), de 6709 toneladas por hora, la cual estará instalada en la margen derecha.

Para los materiales T y 3C de la cortina, la roca mayor a 50,8 cm (20") se procesará en una trituradora primaria de 112 x 122 cm (44" x 48") con una



capacidad de 710 toneladas por hora que se instalará en la margen izquierda a la elevación 580 msnm.



Fig. no. 14.- Primario 2 procesador de los materiales 3B, T y 3C.

2.2.5.3 Procedimiento para el procesamiento de materiales T y 3C.

Objetivo.

Describir las actividades relacionadas con los trabajos para el Proceso de los materiales T y 3C para la cortina.

Alcance.

El procedimiento aplica para las actividades relacionadas con el Procesamiento de los materiales T y 3C para la presa del P.H. La Yesca.

En este proceso se obtienen conjuntamente los materiales T y 3C para la construcción de la cortina.

Información técnica y/o referencias aplicables.

Planos:

- Planos de instalación de la planta



Manuales:

- Plan de calidad
- Plan de seguridad de la empresa

Normas:

- Normas aplicables según la comisión.

Especificaciones:

- Especificaciones de construcción de obra civil.

Definiciones.

- ASTM: Sociedad Americana de Ensayos de Materiales

Responsabilidades.

Superintendente de plantas.

- Revisa el programa de trabajo para prever y suministrar los recursos necesarios al frente de la producción.
- Revisa el procedimiento llevado en campo de acuerdo a lo descrito en el presente.

Superintendente de manejo de materiales.

- Coordinar y programar los recursos para el cumplimiento de las producciones necesarias de acuerdo al programa de obra vigente.
- Controlar el costo diario de producción a fin de identificar las desviaciones y tomar las acciones preventivas o correctivas que eviten el incremento de costos por encima de lo preformado.
- Instruir y capacitar al personal a su cargo para desarrollar los trabajos dentro de un marco de seguridad y eficiencia.
- Mantener comunicación con el responsable del área de seguridad para coordinar los trabajos, reduciendo riesgos para el personal propio y terceros.
- Suministrar la información al encargado y a los ayudantes de los transportadores, de los diagramas de flujo a utilizar.



Responsabilidades generales.

- Todo el personal ejecutivo, técnico, administrativo y obrero que interviene en la aplicación de este procedimiento esta obligado a realizar cualquier actividad usando el equipo de protección personal establecido por el área de seguridad.
- Todo el personal ejecutivo, técnico, administrativo y obrero que interviene en la aplicación de este procedimiento esta obligado a cumplir y hacer cumplir el manifiesto de impacto ambiental.

Antecedentes.

Tener aprobado el material producto de las voladuras en los bancos de materiales.

Descripción del procedimiento.

Descripción general.

Las actividades que se describen se realizarán para el proceso de los materiales 3C y T para la cortina del P.H. La Yesca.

Los materiales T y 3C para la cortina se obtendrán de las voladuras, principalmente en la obra de excedencias del canal de llamada, estructura de control y canal de descarga. En este proceso se utilizarán turnos de 10 horas.

Trituración.

La planta será alimentada con los materiales de los bancos que fueron previamente autorizados para tal fin.

Previo a la instalación de la planta de trituración se nivela y compacta el terreno natural y se construyen los cimientos para las bases de las trituradoras sobre las cuales estarán apoyadas para asegurar la eficiencia de las mismas.

Los materiales se obtendrán de las excavaciones de las obras de excedencias. Dependiendo de la granulometría a juicio del contratista con la anuencia de la comisión se podrá enviar directamente a la cortina para su colocación o al proceso de trituración parcial.

Etapa primaria y única: El material una vez recibido del banco de explotación, es descargado en las instalaciones de la margen izquierda en la elevación 580 msnm, donde se ubica la tolva de recepción, en esta se separan los tamaños que no es necesario reducir por medio de un alimentador vibratorio Grizzly 66" x 30',



los cuales caen directamente sobre una banda de 60" x 100', los tamaños mayores pasan a las muelas de la trituradora primaria 44" x 48", en donde son reducidos a tamaños aceptables para colocación en la cortina, este material se descarga sobre la misma banda en la salida de las muelas del primario, se descarga en una tolva con capacidad de 200 ton desde la cual por medio de compuertas tipo almeja accionadas hidráulicamente, se descarga sobre camiones para llevar el material al almacén para su posterior utilización.

En la estación de la trituración se construirá una cubierta de lamina galvanizada con cortinas de hule para realizar la función de mitigar las emisiones de polvos, en caso de ser necesaria más mitigación de polvos, se instalarán aspersores en las caídas de las bandas transportadoras en la medida que sean necesarios.

El conjunto de la planta es alimentado por medio de líneas de la comisión.

2.2.5.4 Procedimiento para el procesamiento de material 3B de la cortina.

Objetivo.

Describir todas las actividades relacionadas con los trabajos para el Proceso de material 3B para la cortina.

Alcance.

El procedimiento aplica para todas las actividades relacionadas con el Procesamiento de material 3B para la presa del P.H. La Yesca.

Información técnica y/o referencias aplicables.

Planos:

- Planos de instalación de la planta.

Manuales:

- Plan de calidad
- Plan de seguridad de la Empresa

Normas:

- Normas aplicables según la comisión.



Especificaciones:

- Especificaciones de construcción de obra civil.

Definiciones:

- ASTM: Sociedad Americana de Ensayos de Materiales.

Responsabilidades.

Superintendente de plantas.

- Revisa el programa de trabajo para prever y suministrar los recursos necesarios al frente de la producción.
- Revisa el procedimiento llevado en campo de acuerdo a lo descrito en el presente.

Superintendente de manejo de materiales.

- Coordinar y programar los recursos para el cumplimiento de las producciones necesarias de acuerdo al programa de obra vigente.
- Controlar el costo diario de producción a fin de identificar las desviaciones y tomar las acciones preventivas o correctivas que eviten el incremento de costos por encima de lo preformado.
- Instruir y capacitar al personal a su cargo para desarrollar los trabajos dentro de un marco de seguridad y eficiencia.
- Mantener comunicación con el responsable del área de seguridad para coordinar los trabajos, reduciendo riesgos para el personal propio y terceros.
- Suministrar la información al encargado y a los ayudantes de los transportadores, de los diagramas de flujo a utilizar.

Encargado de planta.

- Mantener el área limpia y en condiciones de operación.
- Asegurarse que el personal cuente con los equipos de protección personal.
- Controlar y reportar las actividades del turno de trabajo.

Responsabilidades generales.

- Todo el personal ejecutivo, técnico, administrativo y obrero que interviene en la aplicación de este procedimiento está obligado a realizar cualquier



actividad usando el equipo de protección personal establecido por el área de seguridad.

- Todo el personal ejecutivo, técnico, administrativo y obrero que interviene en la aplicación de este procedimiento esta obligado a cumplir y hacer cumplir el manifiesto de impacto ambiental.

Antecedentes.

Tener aprobados los bancos para la obtención de materiales.

Descripción del procedimiento.

Descripción general.

Las actividades que se describen se realizarán para el proceso del material 3B para la cortina.

El material 3B para la cortina se obtendrá de los bancos de aluvión que se ubican en el cause de los Río Santiago y Bolaños en el lado aguas arriba de la cortina.

En este proceso se utilizarán turnos de 10 horas.

Trituración de materiales.

La planta será alimentada con los materiales de los bancos que fueron previamente autorizados para tal fin.

Previo a la instalación de la planta de trituración se nivela y compacta el terreno natural y se construyen los cimientos para las bases de las trituradoras sobre las cuales estarán apoyadas para asegurar la eficiencia de las mismas.

Los materiales se obtendrán de las excavaciones de las obras de excedencias. Dependiendo de la granulometría a juicio del contratista con la anuencia de la comisión se podrá enviar directamente a la cortina para su colocación o al proceso de trituración parcial.

Etapa primaria y única: El material una vez recibido de los bancos de explotación, es descargado en las instalaciones de margen derecha donde se ubica la tolva de recepción en esta se separan los tamaños que no es necesario reducir por medio de un alimentador vibratorio Grizzly 66" x 30', los cuales caen directamente sobre una banda de 60" x 100', los tamaños mayores pasan a las muelas de la trituradora primaria 38" x 58", en donde son reducidos a tamaños mayores pasan a las muelas de la trituradora primaria 38" x 58", en donde son



reducidos a tamaños aceptables para colocación en la cortina, este material se descarga sobre la misma banda en la salida de las muelas del primario y ambos productos son llevados a un transportador de banda que descarga en una tolva con capacidad de 200 ton desde la cual por medio de compuertas tipo almeja accionadas hidráulicamente, se descargan sobre camiones para llevar el material al almacén para su posterior utilización.

En la estación de trituración se construirá una cubierta de lámina galvanizada con cortinas de hule para realizar la función de mitigar las emisiones de polvos, en caso de ser necesaria más mitigación de polvos, se instalarán aspersores en las caídas de las bandas transportadoras en la medida que sean necesarios.

El conjunto de la planta es alimentado por medio de líneas de la comisión.

2.3 Almacenamiento.

Los sitios de almacenamiento están sujetos a la aceptación previa de la comisión. Antes de utilizar cualquier área para almacenamiento, se debe desmontar, despallar, nivelar y limpiar como se indica en los "Procedimiento para desmonte y despalle" ya antes descritos; además se deben prever sistemas de drenaje para evitar encharcamiento del área de almacenamiento y/o la saturación de los materiales. Estos almacenamientos deben quedar bien definidos y garantizar que no se mezclen diferentes tipos de materiales para evitar desperdicios por contaminación.

No se permite almacenar materiales balconeando el material hacia abajo del talud o en cualquier forma que cause segregación.

El almacenamiento de enrocamientos debe ejecutarse en balconeos no mayores de 6 m, para aminorar la segregación, y la carga de estos materiales debe atacarse en capas del mismo espesor.

El almacenamiento de materiales para construcción de las zonas 1B, 2, 2F, y F debe hacerse extendiendo el material en capas de 80 cm de espesor como máximo y compactar la última capa con compactador liso vibratorio, con el fin de evitar la segregación y disminuir la absorción de agua. Las capas deben conformarse con pendiente no menor del 3% con el fin de prever drenaje de aguas pluviales. Para el almacenamiento del material 3B, T y 3C se requiere drenaje perimetral, para evitar el arrastre de contaminantes hacia los almacenes.



Fig. no. 15.- Almacén general de materiales procesados para cortina.

2.4 Pruebas de control de calidad de los materiales obtenidos para colocación en cortina.

El contratista debe realizar pruebas granulométricas a los materiales 3B, T, 3C, 1B, y 1S cuyas muestras provendrán de los lugares de explotación o de las zonas de almacenamiento. En el caso de los filtros (2, 2F y F), estas muestras serán provenientes de la banda de producción del estabilizador y en caso del material 2 realizar pruebas de densidad de sólidos. Todo esto para determinar la calidad del material que se colocará en la cortina.

Estas pruebas deberán realizarse de acuerdo a la intensidad de muestreo señalada a continuación:

Tabla no. 17.- Intensidades de los muestreos.

Tipo de material	Intensidad del muestreo
2	Una muestra a cada 240 m ³
2F	Una muestra a cada 240 m ³
F	Una muestra a cada 240 m ³
3B	Una muestra a cada 20,000 m ³
T	Una muestra a cada 20,000 m ³
3C	Una muestra a cada 15,000 m ³
1B	Una muestra a cada mes
1S	Una muestra a cada mes

Especificaciones de obra civil 2006



En el caso de los materiales 4, 3H, 3G no serán necesarias las pruebas siempre y cuando se demuestre ante la comisión que se cumple con las características que se requieren para su uso.

2.4.1 Procedimiento para el muestreo de los materiales 3B, T y 3C.

Objetivo.

Determinar la composición granulométrica de los agregados existentes en los almacenes de materiales 3B, T y 3C, utilizados para la conformación de la cortina del P. H. La Yesca.

Alcance.

Aplica a los materiales existentes en los almacenes de agregados tipo 3B, T y 3C, así como de muestreos provenientes directamente del frente de explotación del banco El Vertedor.

Información técnica y/o referencias aplicables.

SCT. Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas, carreteras y aeropistas Libro 6.01.01.

Definiciones.

- Composición granulométrica: Esta prueba consiste en separar por tamaños los fragmentos de roca y partículas de suelo, pasándolo a través de una sucesión de mallas de aberturas cuadradas y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, expresando dichos retenidos como porcentajes en peso de la muestra total.

Responsabilidades.

- Es responsabilidad del Coordinador de Control de Calidad, la implantación de este procedimiento.
- Es responsabilidad del ingeniero de campo, verificar la correcta aplicación y utilización del contenido de este procedimiento, según el alcance establecido.
- Es responsabilidad de los Laboratoristas como elementos ejecutores, conocer el contenido de este procedimiento y aplicarlo correctamente, en las actividades que se desarrollan en el Laboratorio de Control de Calidad.



Antecedentes.

Debe recabar datos de volúmenes de los diferentes materiales, así como definir conjuntamente con la Supervisión de las zonas por muestrear.

Descripción del procedimiento.

Equipo requerido:

- Camión de volteo de 7 m³ de capacidad.
- Báscula de 1500 kilogramos de capacidad y 200 gramos de aproximación.
- Herramienta menor (palas, picos, barretas, etcétera)

Ejecución del muestreo.

Muestra obtenida en los almacenamientos de material.

Cuando la muestra por analizar procede de los almacenamientos de material, su obtención se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Seleccionado el sitio, se procede a realizar una excavación mediante el uso de una retroexcavadora, hasta una profundidad tal que se cubra el espesor correspondiente al acomodo de capas en el almacén, aproximadamente 5.0 m.
- El material extraído de la excavación se coloca lateralmente y de allí se procede a vaciarlo al camión de volteo hasta completar el llenado de la caja.
- Paralelamente a este proceso se determinan topográficamente las coordenadas de la cala donde se llevo a cabo el muestreo.
- Concluido el llenado del camión de volteo se traslada la muestra hacia la criba mecánica vibratoria.
- El muestreo de los almacenes se realizará en forma descendente, es decir primero se liberará la última capa, después la penúltima y así sucesivamente hasta concluir con la que se colocó en un principio.

Muestra obtenida en el frente de explotación del banco El Vertedor.

La muestra que se pretende analizar se vacía en el camión de volteo, tal como se realiza en el proceso de llenado de los camiones fuera de carretera; también en



este caso se determinan las coordenadas de la zona donde se llevo a cabo el muestreo.

Concluido el llenado del camión se traslada la muestra hacia la criba mecánica vibratoria, donde se determina su composición granulométrica.

Intensidad del muestreo.

Con base a las especificaciones, será necesario asegurar que los almacenes de los diferentes tipos de material que conforman el cuerpo de la cortina cumplan con la calidad requerida, para lo cual deberán realizarse pruebas de granulometría, de acuerdo a la intensidad de muestreo señalada a continuación:

Tabla no. 18.- Intensidad del muestreo para las pruebas de granulometría.

TIPO DE MATERIAL	INTENSIDAD DEL MUESTREO
3B	Una muestra a cada 20,000 m ³
T	Una muestra a cada 20,000 m ³
3C	Una muestra a cada 15,000 m ³

Especificaciones de obra civil 2006

Seguridad en el desarrollo de los trabajos.

El personal que se encargará de los muestreos y de la ejecución de las pruebas, deberá contar al menos con el equipo de seguridad indicado a continuación:

- Guantes de carnaza.
- Tapones auditivos.
- Lentes de protección.
- Calzado de uso industrial.
- Faja de seguridad.
- Casco de protección.

Cuidado del medio ambiente.

Todos los fragmentos de roca y suelo producto de las pruebas de laboratorio deberán desecharse una vez que se concluyan los análisis correspondientes; estos desechos se depositarán por capas colocadas en la zona de desperdicio.

Nota: Una vez obtenida la muestra en el caso de estos tres materiales la prueba de granulometría se divide en 2 partes como a continuación se describe.



- Granulometría grande: Es la parte de la granulometría comprendida entre 3” y 30”, determinada mediante el uso de una Criba mecánica vibratoria, localizada en la margen derecha de la cual obtendremos nuestra muestra que será analizada en laboratorio que será todo el material que pase la malla de 3”.
- Granulometría chica: Es la parte de la granulometría que pasa la malla de 3”, y que mediante cuarteo se obtiene una muestra de tamaño representativo, la que se somete a un análisis granulométrico estándar.

2.4.2 Procedimiento para el muestro de filtros (2, 2F y F), en la banda de producción del estabilizador.

Objetivo.

Determinar la composición granulométrica de los filtros (2, 2F y F) producto de la estabilización de grava-arena y finos, provenientes de la banda de producción del estabilizador, utilizados para la conformación de la cortina del P.H. La Yesca.

Alcance.

Aplica al producto final obtenido del proceso de estabilización de grava-arena y finos, proveniente de la banda de producción final.

Información técnica y/o referencias aplicables.

SCT. Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas, carreteras y aeropistas Libro 6.01.01.

Definiciones.

- Composición granulométrica: Esta prueba consiste en separar por tamaños los fragmentos de roca y partículas de suelo, pasándolo a través de una sucesión de mallas de aberturas cuadradas y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, expresando dichos retenidos como porcentajes en peso de la muestra total.

Responsabilidades.

- Es responsabilidad del Coordinador de Control de Calidad, la implantación de este procedimiento.
- Es responsabilidad del ingeniero de campo, verificar la correcta aplicación y utilización del contenido de este procedimiento, según el alcance establecido.



- Es responsabilidad de los Laboratoristas como elementos ejecutores, conocer el contenido de este procedimiento y aplicarlo correctamente, en las actividades que se desarrollan en el Laboratorio de Control de Calidad.

Antecedentes.

Debe recabar datos de volúmenes de los diferentes materiales, así como definir conjuntamente con la Supervisión de la intensidad de los muestreos.

Descripción del procedimiento.

Equipo requerido:

- Camioneta con capacidad de 1 ton.
- Recipiente con capacidad de 100 kg.
- Herramienta menor (palas, cucharón, etcétera).

Ejecución del muestreo.

Se le solicita al operador del estabilizador que pare el equipo, esto se hará en el momento que el personal de control de calidad llegue sin dar tiempo a que cambien la dosificación en ese momento establecida.

El lugar de muestreo se localizara en la banda de producción final, es decir a la salida del mezclador y antes de que llegue a la tolva la cual descarga en camiones para llevar el material a los almacenes.

El responsable de Plantas tendrá la obligación de habilitar el lugar de muestreo para que este se pueda hacer en cualquier momento y en cualquiera de los 2 turnos.

Una vez que el muestreador esta junto a la banda de producción final y que esta se encuentra detenida se toma el material con la pala, que se encuentre en la banda depositándolo en el recipiente cuidando que la muestra que se tomo tenga una equivalencia a un metro lineal, todo esto procurando dejar limpia la banda raspando los finos con el cucharón, que queden pegados a la banda.

Concluido el llenado del recipiente se traslada la muestra hacia el laboratorio de Control de Calidad, donde se determina su composición granulométrica.

Intensidad del muestreo.

Con base a las especificaciones, será necesario asegurar que la producción de los diferentes tipos de material que conforman el cuerpo de la cortina cumplan con la



calidad requerida, para lo cual deberán realizarse pruebas de granulometría, de acuerdo a la intensidad de muestreo señalada a continuación:

Tabla no. 19.- Intensidad del muestreo para las pruebas de granulometría.

TIPO DE MATERIAL	INTENSIDAD DEL MUESTREO
2	Una muestra cada 240 m ³ de producción
2F	Una muestra cada 240 m ³ de producción
F	Una muestra cada 240 m ³ de producción

Especificaciones de obra civil 2006

Seguridad en el desarrollo de los trabajos.

El personal que se encargará de los muestreos y de la ejecución de las pruebas, deberá contar al menos con el equipo de seguridad indicado a continuación:

- Guantes de carnaza.
- Tapones auditivos.
- Lentes de protección.
- Calzado de uso industrial.
- Faja de seguridad.
- Casco de protección.

Cuidado del medio ambiente.

Todos los fragmentos de roca y suelo producto de las pruebas de laboratorio deberán desecharse una vez que se concluyan los análisis correspondientes; estos desechos se depositarán por capas colocadas en la zona de desperdicio.

2.4.3 Procedimiento para la realización de secado y disgregado.

Objetivo.

Estos procedimientos permiten realizar la preparación de las muestras de materiales empleados en terracerías y terraplenes, mediante el secado, disgregado, logrando por estos medios, porciones representativas para efecto de pruebas de laboratorio.



Alcance.

Indicar el procedimiento para realizar correctamente el secado y la separación de las partículas que conforman una muestra de material a emplear en la estructura de una terracería y en terraplenes.

Información técnica y/o referencias aplicables.

Especificaciones de construcción de obra civil del P. H. La Yesca.

Definiciones.

- Secado: El secado se realiza con el fin de facilitar la separación de las partículas que componen la muestra, cuando su contenido de agua es tal que no permite su disgregación.
- Disgregado: Esta actividad se realiza con el objeto de separar las partículas que conforman la muestra de suelo.

Responsabilidades.

Es responsabilidad del Jefe de Laboratorio, conocer este procedimiento para asegurar y asegurar mediante supervisión periódica a sus subalternos, como son los laboratoristas y los auxiliares de laboratorio, así como los cálculos para la obtención de los resultados de las pruebas.

Antecedentes.

Revisar que el equipo se encuentre limpio, calibrado y completo en todas sus partes y en condiciones de operación.

Procedimiento.

Secado.

Para realizar el secado de la muestra al aire o al sol a temperatura ambiente, se extiende sobre una charola o sobre una superficie horizontal, limpia y libre de sustancias que pudieran contaminar la muestra.

Cuando se utilice un horno para realizar el secado, la muestra se introducirá en él manteniendo una temperatura de $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

En ambos casos el material debe revolverse con el cucharón periódicamente para que la muestra quede seca de tal manera que permita su fácil disgregación.



Disgregado.

Una vez seca la muestra por cualquiera de los dos procedimientos mencionados anteriormente se determina y se registra su peso con aproximación de 10 g.

El material se tamiza por la malla No. 4, apartando la fracción que pasa por la malla.

El material retenido en la malla No. 4 se tamiza por la malla de 3" y la fracción retenida se coloca en las charolas de lámina, donde se disgrega con ayuda del mazo de madera, aplicando golpes verticalmente con una altura aproximada de 20 cm., hasta obtener partículas que ya no sean disgregables. El material disgregado se criba nuevamente por la malla de 3" se obtiene y registra el peso de la fracción retenida con aproximación de 10 g. y se calcula su porcentaje con relación a la masa total de la muestra.

El material disgregado y cribado por la malla de 3", se tamiza por la malla 2", repitiendo el mismo procedimiento de tamizado, disgregado y calculo descritos en el inciso anterior. Se repite la misma operación con las malla 1", 3/8" y No. 4.

Por ultimo se integra la muestra con todo el material disgregado para posteriormente proceder al mezclado y cuarteo de la misma.

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.

Recursos.

Equipo y materiales.

Secado.

- Horno eléctrico provisto de termostato capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Cucharon de lámina.



- Charolas de lámina galvanizada.
- Pala.

Disgregado.

- Mazo de madera forrado de cuero en su base.
- Charolas.
- Balanza capacidad 20 kg. Aproximación 10 g.
- Juego de mallas (3", 2", 1", 3/8" y No. 4).

Mano de obra.

- Jefe de laboratorio.
- Laboratorista.

2.4.4 Procedimiento para reducción de muestras al tamaño de prueba de material 2, 2F, F, 1B y material que pasa la malla de 3" obtenido de los materiales 3B, T Y 3C.

Objetivo.

Elaborar un procedimiento para la reducción de grandes muestras de agregado al tamaño apropiado para la prueba, empleando técnicas que pretenden minimizar las variaciones en las características medidas entre la muestra de prueba seleccionada y la gran muestra. Preparar y ensayar muestras representativas de agregados, con las pruebas durante la producción en plantas o control en el suministro.

Alcance.

Este procedimiento aplica a los agregados para concreto, arena para mortero, materiales denominados 2, 2F, F, 1B, N, material que pasa la malla de 3" obtenido de la granulometría grande realizada a los materiales 3B, T y 3C, material para terracerías y pavimentos que se explotan y/o procesan en el Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

Información técnica y referencias aplicables.

- ASTM C 702 Reducción de muestras de agregados a tamaño de prueba.
- ASTM C 125 Terminología relacionada al concreto y agregados para concreto.
- ASTM D 75 Especificación de norma para muestreo de agregados.



Definiciones.

- Agregado: Material granular, tal como arena, grava, piedra triturada, o escoria de alto horno.
- Gravas o agregado grueso: Agregado predominantemente retenido sobre la malla 4.75-mm (No.4) o aquella porción de agregado retenido en la malla 4.75 mm (No. 4)
- Arena o agregado fino: Agregado que pasa la malla 3/8 pulgada (9.5 mm) y que casi pasa totalmente la malla 4.75 mm (No. 4) y que predominantemente se retiene en la malla 75- μm (No. 200); o aquella porción de agregado que pasa la malla 4.75 mm (No. 4) y se retiene en la malla 75 μm (No. 200).
- Finos: Material pasa la malla 75- μm (No. 200).

Responsabilidades.

Es responsabilidad del Jefe de Laboratorio, conocer este procedimiento para asegurar y asegurar mediante supervisión periódica a sus subalternos, como son los laboratoristas y los auxiliares de laboratorio, así como los cálculos para la obtención de los resultados de las pruebas.

Antecedentes.

El personal que realiza esta prueba debe tener evidencia de que esta calificado para su realización.

Las muestras de agregado obtenidas en el campo deberán ser tomadas de acuerdo con la Practica ASTM D 75, o como sea requerido por los métodos de prueba individual. Cuando se contempla solamente la prueba de análisis granulométrico, el tamaño de la muestra de campo indicado en la Práctica ASTM D 75, es normalmente adecuado. Cuando se requiere pruebas adicionales, el usuario deberá estar satisfecho por si solo de que el tamaño inicial de la muestra de campo es adecuado para realizar todas las pruebas requeridas.

Selección del Método: El procedimiento abarca tres métodos de prueba: Método A, partidior mecánico; Método B, cuarteo; Método C, almacén o pila miniatura. Para el Agregado Fino el método se selecciona en función de sus condiciones de humedad. Para el Agregado Grueso o mezclas de Agregado Grueso y Fino, se utilizan los métodos A o B, de preferencia el método A, el método C no esta permitido para este tipo de mezcla de agregado.

Para agregado fino más seco que su condición de superficie seca saturada, debe utilizarse el método A; como rápida aproximación, si el agregado fino retiene su forma, cuando es moldeado con la mano, puede considerarse que esta más húmedo que su condición de superficie seca saturada.



Para agregado fino con humedad libre sobre las superficies de la partícula, debe utilizarse el método B o método C.

Si se desea utilizar el método B o C y la muestra no tiene la humedad libre sobre las superficies de la partícula, la muestra puede ser humedecida para cumplir con esta condición, mezclada completamente para luego proceder con su reducción.

Si se quiere utilizar el método A y la muestra tiene una humedad libre sobre las superficies de los agregados, la muestra entera deberá secarse hasta un contenido de humedad al menos correspondiente a su condición de superficie seca saturada, utilizando temperaturas que no deben exceder a las especificadas para ninguna de las pruebas contempladas. En forma alternativa, si la muestra húmeda es muy grande, puede efectuarse una reducción preliminar de la misma, mediante el partidador mecánico con abertura de canaleta de chute de 38 mm (1 1/2 pulgada) o más para reducir dicha muestra a un tamaño no menor de 5000 g; la porción así obtenida es luego secada, y la reducción al tamaño de la prueba se completa con el uso del método A.

Método A-partidor mecánico.

Partidor de Muestra: los partidores de muestras deben tener un número par de igual ancho de aberturas de canaleta, pero no menor a ocho para agregado grueso o doce para agregado fino. Para agregado grueso o mezcla de agregado, el ancho mínimo de canaleta individual deberá ser aproximadamente 50% más grande que las partículas más grandes de la muestra.

Para agregado fino seco en el cual la muestra entera pasa la malla de 9.5 mm (3/8 pulgada), debe usarse un partidador con aberturas de canaleta de 12.5 a 20 mm (1/2 a 3/4 pulgada). El partidador está equipado con un alimentador de canaletas y tres charolas receptoras de la muestra partida.

Colocar la muestra original en la tolva o charola y distribuirla uniformemente, de tal forma que cuando se introduce en las canaletas, ésta fluya en cantidades aproximadamente iguales de materiales a través de cada canaleta.

Verter la muestra a una velocidad tal que se permita su libre flujo a través de las canaletas hacia las charolas receptoras.

Eliminar o guardar en otra charola, para su reducción, el material contenido en una de las charolas receptoras.

Reacomodar las charolas receptoras y reintroducir en el partidador la porción del material contenida en la otra charola receptora.

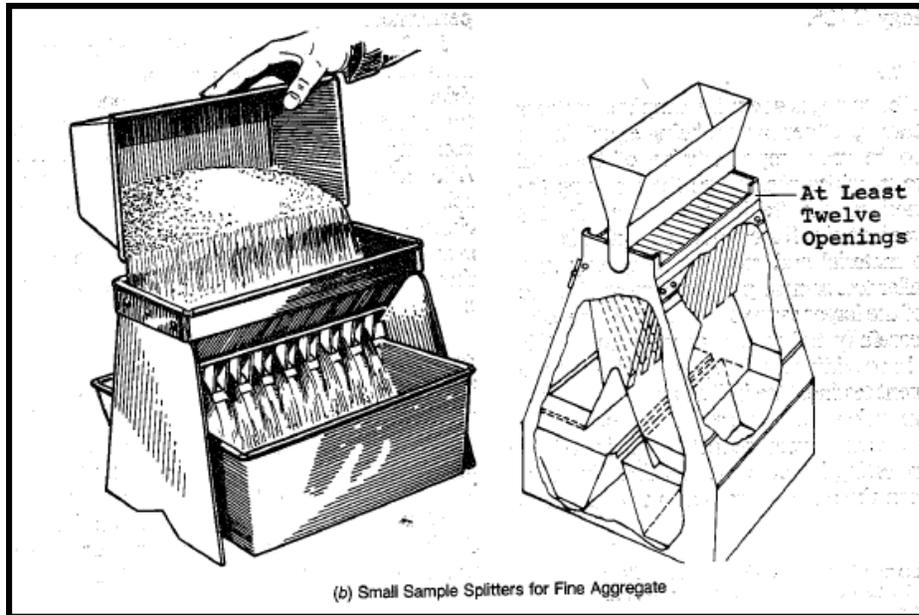


Fig. No. 16.- Partidor mecánico método-A.

Método B-cuarteo.

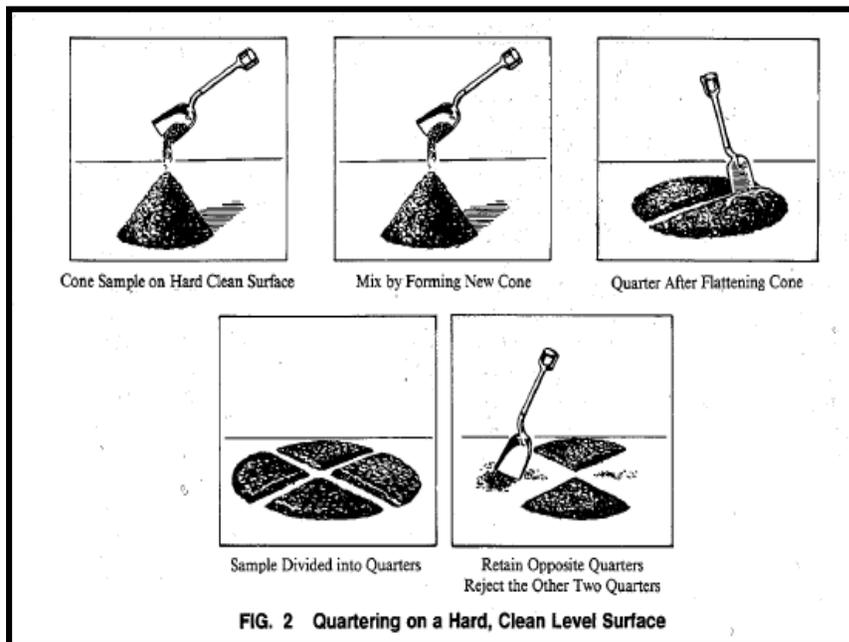


Fig. no. 17.- Cuarteo manual método-B.

Colocar la muestra original sobre una superficie dura, limpia y plana, donde no habrá pérdida de material ni adición de material extraño.



Mezclar el material completamente traspalando toda la muestra en tres ocasiones formando una pila cónica, depositando cada capa sobre la anterior.

Aplastar cuidadosamente la pila cónica hasta obtener un espesor y un diámetro uniformes presionando sobre su vértice con la pala o con la cuchara de tal suerte que cada porción del cuarteo contenga la característica del material original; el diámetro debe ser de 4 a 8 veces el espesor.

Dividir la masa aplastada en cuatro partes iguales con la pala o cuchara y eliminar dos partes diagonalmente opuestas, incluyendo el material fino, y dejar limpio con brocha los espacios formados.

En forma sucesiva, mezclar y cuartear el material restante hasta obtener el tamaño requerido.

Como alternativa al procedimiento previamente descrito, cuando la superficie del piso no es nivelada, la muestra de campo puede ser colocada sobre una lona y mezclada con una pala, o alternando el levantamiento de cada esquina de la lona y jalándola sobre la muestra hacia la esquina diagonalmente opuesta provocando que el material ruede.

Dividir la muestra como se describe en el procedimiento anterior.

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.

Recursos.

Equipo y materiales.

- Partidor de Muestra.
- Pala rectangular.
- Brocha o escoba.
- Lona de 2 por 2.5 m.



Mano de obra.

- Laboratorista.
- Jefe de Laboratorio.

2.4.5 Procedimiento para prueba de granulometría de materiales.

Objetivo.

Esta prueba permite determinar la composición por tamaños de las partículas de los materiales empleados en la construcción del P. H. La Yesca, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas.

Alcance.

Este procedimiento aplica a las muestras representativas de materiales con tamaños de partículas en un rango de 3" a 0.075 mm, empleados en la construcción del Proyecto Hidroeléctrico La Yesca.

Información técnica y/o referencias aplicables.

Especificaciones de construcción de obra civil del P. H. La Yesca.

Definiciones.

- Granulometría: Es la medición de los granos de una formación sedimentaria y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.
- Cribas: Conjunto de malla y marco usado para determinar la granulometría de un suelo.

Responsabilidades.

Es responsabilidad del Jefe de Laboratorio, conocer este procedimiento para asegurar y asegurar mediante supervisión periódica a sus subalternos, como son los Laboratoristas y los auxiliares de laboratorio, así como los cálculos para la obtención de los resultados de las pruebas.

Antecedentes.

Revisar que el equipo se encuentre limpio, calibrado y completo en todas sus partes y en condiciones de operación.



Descripción del procedimiento.

Preparación de la muestra.

Selección del material para la prueba.

De la muestra total se apartan aproximadamente 15 kg., de acuerdo con lo indicado en la sección de secado, disgregado y cuarteo, y se registra el peso total de la muestra como W_m en g.

Obtención de las porciones de prueba.

Para realizar la prueba se separan las arenas y los finos de acuerdo a lo siguiente:

- Se vacía el material cuidadosamente sobre la malla No. 4, recolectando el material que pasa la malla en una charola, con ayuda de una brocha se retira el material que se haya adherido en la malla a fin de hacerlo pasar por la misma y no perder material durante el proceso, en cuanto al material retenido en la malla, también se separa en otra charola.
- Se obtiene el peso del material retenido en la malla, lo cual representa el porcentaje de grava, registrándola como W_{m1} , en gramos. De la misma manera se obtiene el peso de la porción que pasa por la malla, que representa las arenas y finos, registrándola como W_{m2} .
- De la fracción que pasó la malla No.4. Se obtienen 100 g. de material y conforme a lo indicado en la sección de determinación de contenido de agua, se obtiene dicho porcentaje.
- De la fracción restante de material que contiene el contenido de agua original, se seleccionan 200 g aproximadamente y se registra el peso como W_{m3} .

Procedimiento de la prueba.

Preparación de las mallas.

Se preparan 2 juegos, el primero para la grava y el segundo para las arenas con finos, en el primer caso se acomodan y en el segundo se ensamblan en orden descendente de acuerdo a lo indicado en la siguiente tabla, y terminado cada juego de mallas con las charolas del fondo.

Las mallas usadas dependen del tipo de material, dichas mallas se especifican en la siguiente tabla:



Tabla no. 20.- Mallas a usar en la prueba de granulometría dependiendo de el material a ensayar.

No. de malla	Tipo de material			
	2F	2	1B	F
2"	-	X	-	X
1 3/4"	-	-	-	X
1 1/2"	X	X	X	X
1 1/4"	X	X	X	X
1"	-	X	-	X
7/8"	-	-	-	X
3/4"	X	X	-	X
5/8"	-	-	-	X
1/2"	-	-	-	X
7/16"	-	-	-	X
3/8"	X	X	X	X
5/16"	-	-	-	X
1/4"	-	-	-	X
No. 4	X	X	X	X
8	-	-	-	X
10	X	X	X	X
16	-	-	-	X
20	X	X	X	X
30	-	-	-	X
40	X	X	X	X
50	-	-	-	X
60	X	X	X	X
70	-	-	-	X
100	X	X	X	X
200	X	X	X	X

**X= se utiliza la malla para la determinación de la granulometría*

Cribado del material retenido en la malla No. 4.

La porción de material retenida en la malla No. 4 se tamiza por la malla de 3" y menores. El material se vierte con cuidado malla por malla aplicando una rotación horizontal, con el fin de mantener el material en constante movimiento, permitiendo que las partículas de menor tamaño pasen por las aberturas de las malla y recolectarlas en una charola. El material retenido se colocara en otra charola. Los pesos del material retenido en cada malla se registran en g.



Cribado del material que pasa la malla No. 4.

El material que se separo de lo que pasa por la malla No. 4 (300 g) se coloca en un vaso y se le agregan 500 cm³ de agua aproximadamente y se deja reposar cuando menos 12 horas.

Posteriormente se lava por la malla No. 200 de la siguiente manera: Con ayuda de una varilla se agita el material en forma de ochos durante 15 s., de modo que se forme una suspensión.

Se deja reposar durante 30 s. e inmediatamente se decanta sobre la malla No. 200. Para facilitar el paso de las partículas a través de la malla se deja caer un chorro de agua a baja presión sobre esta. Se repite la operación hasta que el agua decantada salga limpia.

Posteriormente del lavado, se decanta el material retenido en la malla No. 200 nuevamente en el vaso, evitando la pérdida de material, con ayuda de agua.

Se seca el material en el vaso, dentro del horno a una temperatura constante de $\pm 110^{\circ}\text{C}$ durante 16 horas cuando menos, posteriormente se retira del horno y se deja enfriar hasta temperatura ambiente.

Una vez ensambladas las mallas para la arena como se muestra en la tabla anterior, se vierte el material seco sobre la malla superior y se coloca la tapa.

Se efectúa la operación de cribado, imprimiendo a las mallas un movimiento vertical y de rotación horizontal por 5 min.; en esta operación es conveniente utilizar agitador mecánico.

Concluido el cribado se retira la tapa y se separa la primera malla (No. 10), la cual se agita sobre una charola hasta que se estime que el peso de material que pase la malla durante un minuto no sea mayor a 1 g., el material depositado en la charola se vierte sobre la malla siguiente (No. 20). Este procedimiento se repite por cada malla, verificando que las partículas que queden atoradas en las mallas sean regresadas a la porción retenida correspondiente con ayuda de un cepillo por el reverso de la malla.

Posteriormente se obtienen y registran los pesos del material retenido en cada malla.

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.



Fig. no. 18.- Realización de la prueba de granulometría.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.

Recursos.

Equipo y materiales.

- Horno eléctrico provisto de termostato capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Balanzas capacidad 20kg aproximación 1g y de capacidad 2000 g y aproximación 0.01 g.
- Vaso de aluminio.
- Agitador de varilla metálica.
- Maquina mecánica agitadora para mallas.
- Cucharón.
- Charolas.
- Tapas y charolas de fondo para mallas.
- Cepillos o brochas.



Nota: el procedimiento para la obtención de la densidad de sólidos que se muestra a continuación se divide en 2 partes en densidad en gravas y arenas los cuales aplican para todos los materiales colocados en cortina.

2.4.6 Procedimiento para la obtención de la densidad de sólidos del material que pasa la malla N° 4.

Objetivo.

Elaborar un procedimiento para determinar la densidad de los sólidos, parámetro requerido para el cálculo de la relación de vacíos y grado de saturación.

Alcance.

Este procedimiento aplica al material denominado "2", clasificado como una grava-arena limosa del proyecto Hidroeléctrico "La Yesca".

Información técnica y/o referencias aplicables

- Especificaciones de construcción de obra civil del P. H. La Yesca.
- Norma ASTM D 854-06. Método estándar para determinar gravedad específica de suelos por el método del picnómetro. Norma.
- ASTM C-127. Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de los agregados gruesos.

Definiciones.

Gravedad específica de sólidos de un suelo (densidad de sólidos). Es la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos y el peso en el aire del mismo volumen de agua destilada libre de gas a la temperatura de 20°C.

Responsabilidades.

Es responsabilidad del Jefe de Laboratorio, conocer este procedimiento para asegurar y asegurar mediante supervisión periódica a sus subalternos, como son los laboratoristas y los auxiliares de laboratorio, así como los cálculos para la obtención de los resultados de las pruebas.

Antecedentes.

El personal que realiza esta prueba debe tener evidencia de que está calificado para su realización.



Revisar que el equipo se encuentre limpio, calibrado y completo en todas sus partes y en condiciones de operación.

Procedimiento.

Calibración del picnómetro.

- Llenar el picnómetro con agua estilada sin burbujas de aire.
- Coloque el picnómetro en el baño María hasta que se equilibre su temperatura con la del baño.
- Sáquese el picnómetro del baño María, ajústese con la pipeta el nivel del agua en el picnómetro de manera que la parte inferior del menisco coincida con la marca de calibración del picnómetro y remuévase el agua adherida al interior del cuello del picnómetro por encima de la marca de aforo.
- Pésese el picnómetro con agua con una precisión de 0.01 g.
- Agítese el picnómetro suavemente y determínese la temperatura del agua con una precisión de 0.1°C introduciendo el termómetro hasta la mitad de la profundidad del cuerpo del picnómetro.
- Repítase el procedimiento anterior aproximadamente a la misma temperatura, luego háganse otras 4 determinaciones de masa P del matraz lleno de agua hasta su marca de aforo a las temperaturas de 5 y 10°C por debajo de la temperatura inicial y 5 y 10°C por arriba, aproximadamente, registrando las masas como P₋₅, P₋₁₀, P₅, P₁₀ y las temperaturas como t₋₅, t₋₁₀, t₅, t₁₀, respectivamente.
- Dibújese la curva de calibración con los datos obtenidos en las determinaciones de peso y temperatura obtenidos con la operación anterior.

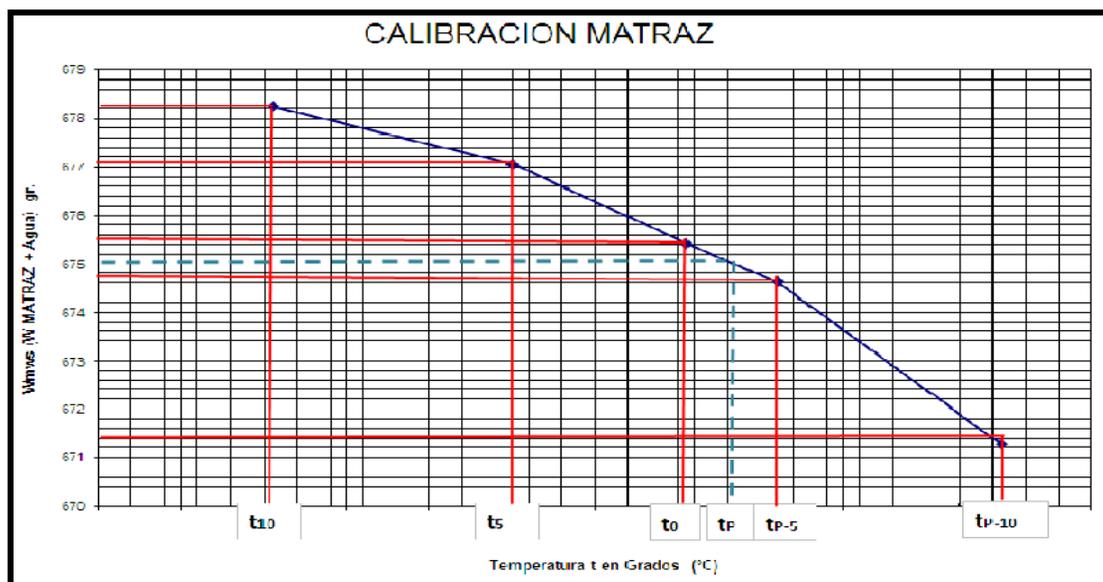


Fig. no. 19.- Curva de calibración de matraz.



Tabla no. 21.- Densidad del agua y coeficiente de temperatura (k) para varias temperaturas.

Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)	Coeficiente de temperatura (k)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)	Coeficiente de temperatura (k)
15.00	0.99910	1.00090	19.00	0.99841	1.00020
15.10	0.99909	1.00088	19.10	0.99839	1.00018
15.20	0.99907	1.00087	19.20	0.99837	1.00016
15.30	0.99906	1.00085	19.30	0.99835	1.00014
15.40	0.99904	1.00084	19.40	0.99833	1.00012
15.50	0.99902	1.00082	19.50	0.99831	1.00010
15.60	0.99901	1.00080	19.60	0.99829	1.00008
15.70	0.99899	1.00079	19.70	0.99827	1.00006
15.80	0.99898	1.00077	19.80	0.99825	1.00004
15.90	0.99896	1.00076	19.90	0.99823	1.00002
16.00	0.99895	1.00074	20.00	0.99821	1.00000
16.10	0.99893	1.00072	20.10	0.99819	0.99998
16.20	0.99891	1.00071	20.20	0.99816	0.99996
16.30	0.99890	1.00069	20.30	0.99814	0.99994
16.40	0.99888	1.00067	20.40	0.99812	0.99992
16.50	0.99886	1.00066	20.50	0.99810	0.99990
16.60	0.99885	1.00064	20.60	0.99808	0.99987
16.70	0.99883	1.00062	20.70	0.99806	0.99985
16.80	0.99881	1.00061	20.80	0.99804	0.99983
16.90	0.99879	1.00059	20.90	0.99802	0.99981
17.00	0.99878	1.00057	21.00	0.99799	0.99979
17.10	0.99876	1.00055	21.10	0.99797	0.99977
17.20	0.99874	1.00054	21.20	0.99795	0.99974
17.30	0.99872	1.00052	21.30	0.99793	0.99972
17.40	0.99871	1.00050	21.40	0.99791	0.99970
17.50	0.99869	1.00048	21.50	0.99789	0.99968
17.60	0.99867	1.00047	21.60	0.99786	0.99966
17.70	0.99865	1.00045	21.70	0.99784	0.99963
17.80	0.99863	1.00043	21.80	0.99782	0.99961
17.90	0.99862	1.00041	21.90	0.99780	0.99959
18.00	0.99860	1.00039	22.00	0.99777	0.99957
18.10	0.99858	1.00037	22.10	0.99775	0.99954
18.20	0.99856	1.00035	22.20	0.99773	0.99952
18.30	0.99854	1.00034	22.30	0.99770	0.99950
18.40	0.99852	1.00032	22.40	0.99768	0.99947
18.50	0.99850	1.00030	22.50	0.99766	0.99945
18.60	0.99848	1.00028	22.60	0.99764	0.99943
18.70	0.99847	1.00026	22.70	0.99761	0.99940
18.80	0.99845	1.00024	22.80	0.99759	0.99938
18.90	0.99843	1.00022	22.90	0.99756	0.99936



Tabla no. 22.- Densidad del agua y coeficiente de temperatura (k) para varias temperaturas.

Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)	Coeficiente de temperatura (k)	Temperatura (°C)	Densidad (g/ml)	Coeficiente de temperatura (k)
23.00	0.99754	0.99933	27.00	0.99652	0.99831
23.10	0.99752	0.99931	27.10	0.99649	0.99828
23.20	0.99749	0.99929	27.20	0.99646	0.99825
23.30	0.99747	0.99926	27.30	0.99643	0.99822
23.40	0.99745	0.99924	27.40	0.99641	0.99820
23.50	0.99742	0.99921	27.50	0.99638	0.99817
23.60	0.99740	0.99919	27.60	0.99635	0.99814
23.70	0.99737	0.99917	27.70	0.99632	0.99811
23.80	0.99735	0.99914	27.80	0.99629	0.99808
23.90	0.99732	0.99912	27.90	0.99627	0.99806
24.00	0.99730	0.99909	28.00	0.99624	0.99803
24.10	0.99727	0.99907	28.10	0.99621	0.99800
24.20	0.99725	0.99904	28.20	0.99618	0.99797
24.30	0.99723	0.99902	28.30	0.99615	0.99794
24.40	0.99720	0.99899	28.40	0.99612	0.99791
24.50	0.99717	0.99897	28.50	0.99609	0.99788
24.60	0.99715	0.99894	28.60	0.99607	0.99785
24.70	0.99712	0.99892	28.70	0.99604	0.99783
24.80	0.99710	0.99889	28.80	0.99601	0.99780
24.90	0.99707	0.99887	28.90	0.99598	0.99777
25.00	0.99705	0.99884	29.00	0.99595	0.99774
25.10	0.99702	0.99881	29.10	0.99592	0.99771
25.20	0.99700	0.99879	29.20	0.99589	0.99768
25.30	0.99697	0.99876	29.30	0.99586	0.99765
25.40	0.99694	0.99874	29.40	0.99583	0.99762
25.50	0.99692	0.99871	29.50	0.99580	0.99759
25.60	0.99689	0.99868	29.60	0.99577	0.99756
25.70	0.99687	0.99866	29.70	0.99574	0.99753
25.80	0.99684	0.99863	29.80	0.99571	0.99750
25.90	0.99681	0.99860	29.90	0.99568	0.99747
26.00	0.99679	0.99858	30.00	0.99565	0.99744
26.10	0.99676	0.99855	30.10	0.99562	0.99741
26.20	0.99673	0.99852	30.20	0.99559	0.99738
26.30	0.99671	0.99850	30.30	0.99556	0.99735
26.40	0.99668	0.99847	30.40	0.99553	0.99732
26.50	0.99665	0.99844	30.50	0.99550	0.99729
26.60	0.99663	0.99842	30.60	0.99547	0.99726
26.70	0.99660	0.99839	30.70	0.99544	0.99723
26.80	0.99657	0.99836	30.80	0.99541	0.99720
26.90	0.99654	0.99833	30.90	0.99538	0.99716



Preparación de la muestra.

Debe tenerse especial cuidado en obtener muestras representativas para la determinación del peso específico de los sólidos. La muestra de suelo puede ensayarse a su humedad natural, o puede secarse al horno; sin embargo, algunos suelos, principalmente aquellos que tiene un alto contenido de materia orgánica, son muy difíciles de rehumedecer después de que se han secado al horno. Estos suelos pueden ser ensayados sin haberse secado previamente en el horno, en cuyo caso el peso de la muestra seca se determina al final del ensayo.

La masa de la muestra ensayada será de acuerdo al picnómetro usado considerando lo estipulado en la siguiente tabla:

Tabla no. 23.- Cantidad de masa a usar en el picnómetro.

Tipo de suelo	Masa del espécimen seco (g) usando picnómetro de 250 ml	Masa del espécimen seco (g) usando picnómetro de 500 ml
SP, SP-SM	60 +/- 10	100 +/- 10
SP-SC, SM, SC	45 +/- 10	75 +/- 10
Limo o arcilla	35 +/- 5	50 +/- 10

Especificaciones de obra civil 2006

Existen dos métodos para la determinación de la gravedad específica el método a usar deberá ser especificado por la autoridad solicitante.

Método A. Procedimiento usado para determinar la gravedad específica de especímenes húmedos, este es el método usual para suelos muy orgánicos, muy plásticos y finos.

Método B. Procedimiento usado para determinar la gravedad específica de los especímenes secados al horno.

Procedimiento de prueba.

Método A. para especímenes húmedos.

La masa de la muestra a usar se especifica en la tabla ilustrada anteriormente, de acuerdo al picnómetro a utilizar.

Empleando una espátula, mézclese el suelo con suficiente agua destilada, hasta formar una pasta; colóquese luego la mezcla dentro del picnómetro con ayuda de un embudo, si se requiere agregue agua.

Llénese el picnómetro con agua destilada hasta aproximadamente la mitad del frasco volumétrico.



El aire atrapado en la muestra dentro del picnómetro se puede eliminar, ya sea usando calor (cocción), el vacío o la combinación de ambos.

Cuando se utiliza el método de solo calor (cocción), se calienta la suspensión levemente durante un mínimo de 10 minutos, rotando ocasionalmente el picnómetro para facilitar la expulsión de aire. El proceso de calentamiento debe adelantarse con mucho cuidado, porque pueden ocurrir pérdidas de material, las muestras que se calienten deberán dejarse enfriar a temperatura ambiente. Si solo se utiliza el vacío se debe conectar el picnómetro a la línea de vacío hasta obtener una presión absoluta dentro del frasco no mayor a 100 mm de mercurio (0.136 kg/cm²). El tiempo de aplicación del vacío dependerá del tipo de suelo del que se trate.

Si se usa una combinación de calor y vacío, los picnómetros se pueden colocar en un baño de agua tibia (no más de 40°C), mientras se aplica el vacío. El nivel de agua en el baño debe estar ligeramente por debajo del nivel del agua en el picnómetro.

Llénese el picnómetro con agua destilada y sin burbujas de aire, hasta 2 cm por debajo de la marca y aplíquese vacío calor nuevamente hasta que a la suspensión se le haya extraído la mayor parte de aire, remuévase con cuidado el tapón del picnómetro y obsérvese cuanto baja el nivel del agua en el cuello. Si la superficie de agua baja más de 3 mm, se deberá seguir aplicando vacío o calor hasta lograr esta condición.

Llénese el picnómetro con agua destilada hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de aforo. Séquese completamente la parte exterior del picnómetro y con ayuda de una toalla absorbente, remuévase el agua adherida la interior del cuello del matraz.

Pésese inmediatamente el picnómetro y su contenido con aproximación de 0.1°C, introduciendo un termómetro hasta la mitad el cuerpo del picnómetro. Transfírase con mucho cuidado el contenido del picnómetro a una capsula.

Enjuáguese el picnómetro con agua destilada, hasta asegurarse que toda la muestra sea removida de él. Introdúzcase la capsula con la muestra dentro del horno.

Una vez seca la muestra déjese enfriar a temperatura ambiente y determínese el peso seco del suelo, con aproximación de 0.01 g.



Método B. para especímenes secos al horno.

Secar la muestra de suelo a una masa constante en un horno manteniendo una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Romper cualquier terrón con ayuda del mortero y majadero. Si el suelo no se disgrega fácilmente después de secado o ha cambiado su composición, se procede a usar el método A.

Una vez seca la muestra deje enfriar a temperatura ambiente y pésese con aproximación de 0.01 g.

Una vez pesado el suelo transfírase el suelo al picnómetro teniendo mucho cuidado de no perder material durante la operación.

Llénese el picnómetro hasta la mitad de su contenido con agua destilada sin burbujas de aire y déjese reposar la suspensión durante una noche. Extráigase el aire atrapado dentro de la suspensión por alguno de los medios mencionados anteriormente en el método aplicado a especímenes húmedos.

Si la extracción de aire se realizó por medio de calor, déjese enfriar el picnómetro y su contenido por una noche.

Realice los pasos subsiguientes del ensayo de la misma forma que los indicados en el método aplicado a especímenes húmedos.

Cálculos.

El peso específico de los sólidos se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$G_s = \frac{W_0 \times K}{W_0 + W_2 - W_1}$$

- K = Factor de corrección basado en el peso específico del agua a 20°C (véase tabla 21).
- W_2 = Pesos del picnómetro mas agua a la temperatura de ensayo, g (obtenido de la curva de calibración).
- W_0 = Peso del suelo seco, g.
- W_1 = Peso del picnómetro + agua + suelo, g.

Nota: Para la determinación de la ponderación del agregado grueso y del fino se aplican las siguientes expresiones:

Ponderación de la arena (ponderación 1) = % Que pasa la malla 4 (Densidad del agregado fino)



Ponderación de la grava (ponderación 2) = % Retenido en la malla 4 (Densidad del agregado grueso)

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.

Recursos.

Equipo y materiales.

- Picnómetro (frasco volumétrico). Con capacidad de 100 a 500 cm³.
- Balanza con capacidad de 1 kg o mas, una sensibilidad de 0.01 gr y otra con capacidad de 200 g y sensibilidad de 0.001 g.
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 grados centígrados.
- Termómetro graduado con escala de 0 a 50°C con aproximación de 0.1°C.
- Bomba de vacíos con tubería y uniones, o en su defecto un mechero o plato de calentamiento.
- Baño María.
- Embudo.
- Pipeta.
- Tamiz No. 4.
- Taras.
- Agua destilada.
- Toallas de papel absorbente.

Mano de obra.

- Jefe de laboratorio.
- Laboratorista.



2.4.7 Procedimiento para obtención de gravedad específica, absorción y peso unitario de agregado grueso.

Objetivo.

La realización de esta prueba permite determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.

Alcance.

Este método cubre la determinación de la densidad de las partículas de agregado grueso, es decir las partículas mayores de 4.75 mm (no incluye el volumen de vacíos entre partículas), la densidad relativa, (gravedad específica), y la absorción del agregado grueso. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad en (kg/m^3 (lb/pe^3)) es expresada como secada al horno (OD), saturada superficialmente seca (SSD) o densidad aparente, igualmente la densidad relativa (gravedad específica).

Información técnica y/o referencias aplicables.

- Especificaciones de construcción de obra civil del P. H. La Yesca; .
- Norma ASTM C 127. Método de ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de los agregados gruesos.

Definiciones.

- Densidad: Es una propiedad física de los agregados y esta definida por la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada, lo que significa que depende directamente de las características del grano del agregado.
- Densidad aparente: Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo sus poros saturables y no saturables, (pero sin incluir los vacíos entre las partículas) y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura establecida. La densidad aparente es usada si el agregado a usar en la mezcla esta húmedo, es decir si se ha satisfecho su absorción.
- Densidad nominal: Es la relación entre la masa en el aire de un volumen dado de agregado, incluyendo los poros no saturables, y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a temperatura establecida. La densidad nominal (seca al horno) se usa para cálculos cuando el agregado esta seco o se asume que esta seco. La densidad nominal concierne a la densidad relativa del material solido sin incluir los poros saturables de las partículas constituyentes.



Responsabilidades.

Es responsabilidad del Jefe de Laboratorio, conocer este procedimiento para asegurar y asegurar mediante supervisión periódica a sus subalternos, como son los laboratoristas y los auxiliares de laboratorio, así como los cálculos para la obtención de los resultados de las pruebas.

Antecedentes.

Revisar que el equipo se encuentre limpio, calibrado y completo en todas sus partes y en condiciones de operación.

Descripción del procedimiento.

Preparación de la muestra.

Tomar cuidadosamente una muestra del agregado y reducirla hasta obtener un espécimen de prueba, cuya masa corresponderá al tamaño nominal máximo del agregado, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla no. 24.- Cantidad de masa a ensayar de acuerdo al tamaño del agregado.

Tamaño nominal máximo mm (in)	Masa mínima de prueba Kg (lb)
12.5 (1/2)	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 1/2)	5 (11)
50.0 (2)	8 (18)
63.0 (2 1/2)	12 (26)
75.0 (3)	18 (40)
90 (3 1/2)	25 (55)
100.0 (4)	40 (88)
125.0 (5)	75 (165)

Norma ASTM C 127

Secar y disgregar la muestra como se describe en la sección de secado, disgregado y cuarteo.

Separar el espécimen mediante cribado en dos fracciones: el material que se retiene en la malla No. 4 y el que pasa dicha malla, colocar las fracciones en charolas distintas.

Lavar la fracción de material retenida en la malla No. 4, con el fin de eliminar cualquier residuo de polvo o material contaminante que contenga.



Secar la porción lavada hasta masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ y se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 a 3 h y registrar su peso (A). La porción de prueba se sumerge en agua limpia a una temperatura ambiente por un periodo de 24 ± 4 h.

Transcurrido este tiempo, se extrae el material del agua y se desliza sobre un lienzo absorbente ligeramente humedecido para secar la muestra superficialmente; las partículas más grandes se secan en forma individual. La condición de saturado y superficialmente seco se logra cuando las partículas, no obstante que se noten húmedas, han perdido la película brillante del agua. Esta operación se lleva a cabo de forma rápida para evitar cualquier pérdida de agua por evaporación.

Se obtiene la masa de la canastilla vacía y sumergida en el agua y se registra como W_{C1} en g.

Se obtiene la masa del material saturado y superficialmente seco y se registra en g (B).

Inmediatamente después se coloca el material dentro de la canastilla de alambre, se sumergen ambos en agua limpia a temperatura ambiente y se suspende en el centro del platillo de la balanza, por medio del dispositivo previsto para tal fin. La canastilla se sumergirá a una profundidad adecuada para que esta y el material queden completamente cubiertos por el agua, cuando se aprecie que no salen burbujas de la canastilla y el material sumergidos, se determina la masa del material con la canastilla en g.

Se saca del agua la canastilla con el material, se vierte el material sobre una charola y se coloca dentro del horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ para su secado hasta masa constante.

Después de secado el material se deja enfriar a temperatura ambiente y a continuación se determina y registra su masa en g.

Se determina la masa del material sumergido en el agua restando a la masa del material sumergido dentro de la canastilla, la masa de la canastilla sumergida y se registra en g (C).

Cálculos.

Densidad relativa del agregado (gravedad específica) (OD) en condiciones secas :



$$OD = \frac{A}{B - C}$$

Densidad relativa (SSD) del agregado (procedimiento gravimétrico) en condiciones de saturado superficialmente seco:

$$SSD = \frac{B}{B - C}$$

Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente):

$$\text{Densidad relativa aparente} = \frac{A}{A - C}$$

Donde:

- A = Masa de la muestra seca al horno, gr.
- B = Masa de la muestra en condiciones de saturado y superficialmente seco, gr.
- C = Masa del material sumergido en agua, gr.

Para calcular únicamente la densidad se multiplica la densidad relativa por la densidad del agua a 23 grados centígrados que es 997.5 kg/m³, (62.27 lb/ft³).

$$\text{Absorción}(\%) = \left[\frac{(B - A)}{A} \right] \times 100$$

Los resultados de la densidad se reportarán con aproximación de centésimas de kg/dm³, o 0.5 lb/pie³, y la densidad relativa cercana al 0.01.

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.



Recursos.

Equipo y materiales.

- Malla No. 4.
- Balanza con capacidad de 5 kg o mas, una sensibilidad de 0.5 gr o menos y con una exactitud de 0.5% de la carga de ensayo.
- Horno capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C.
- Canastilla para densidades.
- Recipiente adecuado para sumergir la canastilla conteniendo el material.
- Dispositivo para suspender la canastilla de la balanza.
- Lienzo absorbente.

Mano de obra.

- Jefe de laboratorio.
- Laboratorista.

Nota: Estos procedimientos se ejemplifican con las graficas mostradas en el **Anexo A**, donde se muestran ejemplos de cada uno de los materiales de la cortina sometidos a las pruebas antes mencionadas.



III.- USO Y COLOCACIÓN.

3.1 Generalidades.

Una vez que hemos hablamos del origen y características de los materiales que formaran parte de la cortina del P.H. La yesca, conoceremos el uso que tiene cada uno de los materiales antes mencionados, ya que, a pesar de tener el mismo origen el uso que tienen en el cuerpo de la cortina no es el mismo.

Las cortinas de relleno de tierra se pueden dividir en homogéneas y por zonas. Las cortinas homogéneas se construyen con materiales que presentan la misma distribución de granos y permeabilidad en todo el cuerpo de la cortina. Las cortinas por zonas están compuestas de materiales con diferentes grados de permeabilidad. La cubierta exterior está hecha de material grueso con un alto grado de permeabilidad, mientras que las zonas interiores (que también pueden considerarse como el núcleo) están compuestas de material fino con un bajo grado de permeabilidad, garantizando así la estanqueidad de la presa. Las zonas de filtrado constituyen las transiciones entre las diferentes zonas e impiden que el material fino pase a las demás zonas.

Con lo anterior podemos definir que la configuración estructural de la cortina del PH. La Yesca, es la de una cortina de tierra por zonas con cara de concreto en el talud de aguas arriba de la cortina.

El tipo de cortina seleccionada (enrocamiento con cara de concreto) se debió fundamentalmente a la poca existencia de material impermeable en la zona que permitiría construir una presa con núcleo de arcilla; determinando que el cuerpo de la presa quede constituido por un relleno de material común existente en la zona y por una pantalla impermeable de concreto en el talud aguas arriba de la presa y un enrocado de protección en el talud aguas abajo; considerándose también una capa de material de filtro entre el material de relleno común y la pantalla impermeable de concreto.



También es importante saber que para que una cortina de enrocamiento cumpla su objetivo deberá ser estable y hasta cierto grado impermeable deberá constar de tres zonas importantes:

- Zona impermeable: cuerpo principal de la cortina
- Zona de transición: material de transición entre la zona impermeable y el enrocamiento o zona permeable.
- Zona de enrocamiento: zona permeable

Nota: Las zonas donde son colocados cada uno de los materiales son mostradas en el **Anexo B**.

3.2 Uso de los materiales granulares de la cortina.

3.2.1 Material 3B.

Como ya sabemos el material 3B esta compuesto por aluvión en greña, con una granulometría específica. El cual se extrae del lecho y riberas del río Santiago y bolaños. El uso al cual estará destinado este material será el de formar el cuerpo principal de la cortina, es decir, constituirá la zona impermeable de esta. De tal forma sus principales funciones serán:

- Dar una impermeabilidad suficiente.
- Tener una resistencia al esfuerzo cortante.
- Proporcionar una escasa posibilidad de asentamientos.

3.2.2 Material T.

El material T es un elemento de transición que esta compuesto por enrocamiento sano o aluvión, el uso que tendrá este material es ser un elemento de transición entre las zonas impermeables y las permeables. Su colocación no ofrece características muy destacadas; en general su compactación no tiene gran importancia y no hay inconveniente en colocarlos con un exceso de agua para facilitar tal operación.

3.2.3 Material 3C.

El material 3C se usa como respaldo aguas abajo lo constituye un enrocamiento compactado, dentro del cuerpo de la cortina este material constituye lo que seria la zona de enrocamiento. Las zonas permeables confinan, soportan y protegen el núcleo impermeable. Al estar colocado aguas abajo actúa como dren para controlar el límite superior de filtración. Para controlar con mayor eficacia las



filtraciones transversales y las producidas por los desembalses, la sección debe tener, en lo posible, una permeabilidad creciente del centro hacia los taludes.

3.2.4 Material 2.

La cortina como ya sabemos será de cara de concreto, por lo cual debemos considerar también una capa de material 2 cuyo uso será ser empleado como un filtro entre el material de relleno común (3B) y la pantalla impermeable de concreto.

Por otra parte se considera necesario apoyar la pantalla de concreto sobre un concreto de nivelación poroso, que sirva de dren.

El criterio asumido es que el material de filtro y el concreto poroso puedan captar cualquier filtración que podría producirse a través de la pantalla de concreto y ser evacuado sin afectar el cuerpo de la presa. El objeto del filtro consiste en proteger al material de relleno común en la eventualidad de un desembalse rápido, impidiendo la migración del material fino contenido en él.

3.2.5 Material F.

Como ya sabemos la cortina quedará emplazada en dos unidades litológicas. La parte media superior corresponde a una ignimbrita riódacítica afectada por un intenso fracturamiento parcialmente abierto y relleno por calcita y arcilla.

Esto nos lleva a darle un tratamiento a la zona, por lo cual el uso al cual esta destinado este material es aplicarlo como un tratamiento especial en la zona donde se desplantara el material 3B, es decir será utilizado como un filtro en la zona donde se hallaron diques geológicos sustituir el material frágil por este filtro libre de finos.

3.2.6 Material 2F.

El plinto —palabra de origen italiano que refiere a una estructura de concreto armado anclada a la roca—, también conocido como zapata de cimentación. Sirve para apoyar la cara de concreto y como plataforma para la inyección de la masa de roca. El plinto y la cara de concreto se unen por medio de una junta perimetral de cobre. Esta junta requiere una protección en la base de la cortina donde se unen el plinto y la cara de concreto, esta protección se dará por medio de un filtro el cual lo constituye el material 2F.



3.2.7 Material 1S.

Este material será usado en todas las juntas de tensión, y en la junta perimetral plinto-losa, así como en las juntas de compresión ubicadas en el tercio medio de la cara de concreto, se debe colocar material sellante en contenedores metálicos para garantizar un sellado contra filtraciones ante la eventual rotura de los sellos de cobre.

3.2.8 Materiales 1B, 3H y 3G.

Al pie de la cara de concreto se llevara una capa de material que se encargara de acoplar la cortina con el terreno, además esta capa será la encargada de dar protección a los sellos y filtros.

El material 1B es el primero que integra esta capa y estará sobre la cara de concreto. El material 3H se encargara de darle protección al material 1B. El 3G será el tercer y ultimo material integrante de esta capa y su función será dar estabilidad al material 1B.

3.2.9 Material 4.

El uso al cual será destinado este material será dar protección al talud aguas abajo. El material que lo compone es enrocamiento la cual es una capa de fragmentos grandes de roca durable. Su objeto es preservar la forma del talud o de la estructura que cubre, evitando la erosión debida al oleaje o a las corrientes ocasionadas por el vertedor o la galería de desfogue.

3.3 Trabajos previos a la colocación.

3.3.1 Generalidades.

El contratista debe preparar las cimentaciones, hacer el tratamiento de la roca y colocar los materiales que componen la cortina de acuerdo con las líneas y elevaciones mostradas en los planos del proyecto. Se debe tomar en cuenta la alta variabilidad local que puede presentar la roca ya que podrían variar dichos niveles hasta encontrar el material competente para el desplante, así como las elevaciones de desplante de los materiales de la cortina, aumento o disminución del área de limpia en zonas de laderas o del cauce y cualquier posible variación de la zonificación de materiales de la cortina que considere necesario, para lograr que el desplante de las estructuras se realice sobre material competente (sin alteraciones por intemperismo), removiendo totalmente la capa vegetal, restos de basura, troncos, ramas, depósitos de talud, depósitos arcillosos y areno-limosos



del cauce, así como todo el material que pueda ser removido con un tractor de 200 HP con hoja universal. De acuerdo con los resultados que se obtengan de la limpieza del terreno, el contratista, con la aceptación previa de la Comisión, debe proceder al desplante de las estructuras y materiales.



Fig. no. 20.- Limpieza del cauce del Río Santiago.

3.3.2 Alcance.

El contratista es responsable de la construcción de la cortina de acuerdo con los niveles, pendientes, dimensiones, distribución, colocación y propiedades de los materiales que se muestran en los planos del proyecto o se indican en estas especificaciones. Debe ejecutar bajo su absoluta responsabilidad todas las actividades necesarias para su construcción, la que de manera enunciativa y no limitativa, se mencionan enseguida: desmote, despalme, regularización y limpieza del terreno, excavación de laderas, regularización y tratamientos de la zona de cimentación, los empotramientos con las laderas, y zona del plinto; explotación de bancos de materiales, procesamiento de los materiales para cumplir con las especificaciones de cada estructura; tratamientos de la roca; carga, acarreo, colocación, adición de agua y compactación de los diferentes materiales que forman cada estructura; pruebas de control de calidad de los materiales colocados para verificar que cumplan con las especificaciones; instrumentación del cuerpo de la cortina, juntas de losas y plinto, casetas de instrumentación, tratamiento del talud aguas arriba de la cortina, losas de arranque, cara de concreto, parapeto, alumbrado y demás estructuras de concreto que componen la cortina.



3.3.3 Programa general de construcción.

Es obligación del contratista vigilar permanentemente el avance del programa general de construcción para cumplir con los plazos establecidos, tomando oportunamente las medidas que considere necesarias para contrarrestar atrasos que se presenten.

El contratista debe considerar que la comisión aplica una supervisión sistemática y permanente en todas las actividades, etapas y procesos de la construcción de las obras del proyecto, por lo que debe dar todas las facilidades para que esta supervisión se lleve a cabo y dar respuesta inmediata a las observaciones que la supervisión haga, de acuerdo con las especificaciones en los siguientes puntos:

- El alcance final de la limpieza del terreno, desmonte, despilme y perfilamiento para desplante de las estructuras.
- El destino final de los materiales producto de excavaciones.
- El destino final de los materiales producto de procesamientos.
- Tratamiento de la roca de cimentación.
- El destino final de los materiales por colocar en cortina.
- Proceso de colocación de materiales en cortina.
- Calidad de los materiales por colocar y ya colocados
- Otros conceptos que se originen durante el proceso.

La construcción de la cortina (incluyendo trabajos, estructuras e instalaciones asociadas) se debe efectuar en la secuencia indicada en el programa general de construcción y hasta las líneas y cotas mostradas en los planos. A continuación se indican las actividades que el contratista debe incluir en este programa:

Etapa I.

Localización y preparación de bancos de materiales, construcción de la preataguía aguas arriba, ataguía aguas arriba, ataguía aguas abajo, desvío del río y desagüe del recinto.



Etapa II.

Limpieza desmote y despalme de laderas y cauce del río hasta descubrir roca sana, regularización del terreno para desplante de cualquier tipo de material que componga la estructura, concreto dental y de regularización, tratamientos a la roca para desplante del plinto y de la zona de colocación de materiales, construcción del plinto, anclaje del plinto, tratamientos de inyección en fisuras del concreto en plinto o losas, para contacto concreto-roca, inyección de consolidación e inyección de pantalla de impermeabilización hasta su elevación final.

Etapa III.

Construcción de la ataguía integrada a la cortina con el bordo de concreto extrudido hasta su elevación final, de manera continua o hasta las elevaciones que señale el proceso constructivo, incluyendo extracción, procesamiento, almacenamiento, colocación, adición de agua (donde se especifique), compactación de los diferentes materiales y pruebas de Control de Calidad, instrumentación.

Etapa IV.

Construcción de la cortina hasta su elevación final e inicio de la cara de concreto de la ataguía integrada, de manera continua o hasta las elevaciones que señale el proceso constructivo, incluyendo extracción, procesamiento, almacenamiento, colocación, adición de agua (donde se especifique), compactación de los diferentes materiales y pruebas de Control de Calidad, instrumentación del cuerpo principal de la cortina, construcción de las casetas de instrumentación y alumbrado de casetas y de cortina.

Etapa V.

Construcción de la cara de concreto, de los sellos entre juntas de concreto de lacara y el plinto, construcción de losas de arranque, construcción del parapeto, corona y acabados.

3.4 Preparación de la cimentación.

No se permitirá la colocación de materiales sobre la cimentación de la cortina mientras no se haya preparado ésta como se especifica en esta sección.

En ningún caso se permitirá colocar materiales:



- Sobre agua, con un tirante mayor que el espesor de la capa especificada.
- Sobre materia orgánica, depósitos de material alterado o superficies que impidan la compactación especificada del material de la estructura.
- Sobre áreas no autorizadas por la comisión.

3.4.1 Cimentación para el plinto y materiales 2 y 2F.

No se permitirá la colocación de material 2 y 2F si no se han efectuado los trabajos relativos a la construcción del plinto como son: el anclaje, el colado del concreto del plinto, la colocación de los sellos de cobre y neopreno.

Construcción del plinto.

El proceso constructivo de colados en el plinto en las laderas se hará mediante el sistema de cimbra lateral y contracimbra, para lo cual la secuencia que deberá seguirse se describe a continuación:

Excavación margen izquierda.

Se habilitara el acceso a la cortina desde la margen izquierda, prácticamente al inicio del programa general a efecto de contar con la excavación del plinto lo mas pronto posible, sin embargo se hace necesario librar inicialmente las excavaciones de la plataforma de cierre final en la elevación 580 y algunos cortes de la obra de excedencias con el fin de evitar interferencias en el avance de los trabajos del plinto.

La secuencia de excavación será desde la cota 576, avanzando hacia el cauce hasta llegar a la cota 390, dejando pendiente la sección de llegada al cauce que será excavada posteriormente al desvío y concluida de forma simultánea con la excavación del plinto en el lecho del río.

En el procedimiento de excavación se ha planificado efectuar los banqueos de 6 m de altura con el fin de aplicar en forma paralela los tratamientos que ordene el contratista para la estabilidad de los taludes. Las etapas constructivas para esta excavación son:

- Perforación de precorte en la línea del talud (altura variable máximo 12)
- Perforación de producción (banqueo de 6 m.)
- Voladura.



- Remoción del material producto de la voladura y perfilamiento de la rasante.
- Saneamiento del talud.
- Colocación de tratamientos en taludes.

Tratamientos.

Los concretos y tratamientos se harán en una sola etapa en la margen izquierda, comprenden los anclajes, de piso del plinto y de laderas en los cortes; las inyecciones, de consolidación y de pantalla profunda.

También en las laderas se aplicará concreto lanzado con malla electrosoldada o fibra metálica y se habilitarán drenes mediante barrenos de 76,2 mm de diámetro.



Fig. no. 21.- Construcción del plinto en la margen izquierda.

Concreto dental.

Para regularizar el nivel de desplante del plinto, se colocará concreto dental en restitución de la roca bajo la línea de excavación de proyecto. Si el espesor de concreto dental fuera mayor al ancho del plinto, se presentará un análisis específico de la restitución. El concreto de reposición para apoyo del plinto se coloca de acuerdo con las instrucciones del contratista.



Anclajes.

Con el objeto de integrar el plinto y la cara de concreto de la cortina a la roca subyacente, y para resistir el empuje debido a las inyecciones bajo el plinto, se coloca anclaje mediante varillas de 38,1 mm de diámetro, cuya longitud en roca será de 3,00 m y además tendrán una longitud suficiente para el gancho de enlace con el acero de refuerzo del plinto.

En las laderas se estabilizan los taludes mediante anclaje de fricción de longitud máxima de 4 y 8 m, con varillas de 25,4 mm de diámetro.

Junta perimetral.

Dentro de los colados se dará especial atención a los relacionados con la junta perimetral, dado que en los preparativos deberán habilitarse en la posición que establece el proyecto los materiales que conforman la junta como se describe a continuación. Se colocan sellos de cobre en la junta perimetral entre el plinto y la cara, tensión, compresión y entre la cara y el parapeto.

Cada junta comprende un sello con lámina de cobre, para lograr la geometría mostrada en los planos, se rola en sitio con un equipo fabricado exclusivamente para este fin. Se tienen cuidados extremos para evitar ralladuras, golpes y cualquier daño a los sellos. Para su instalación se realizan soldaduras de empalme que pueden ser en taller o en sitio, el grupo de soldadores que realizan los trabajos son debidamente certificados y periódicamente son evaluados para garantizar la calidad de las soldaduras a lo largo de la construcción del proyecto. Los sellos se instalan de forma simultánea con materiales de acompañamiento como bulbos de neopreno, banda de PVC, hule EPDM y madera de encino.

3.4.2 Cimentación para colocación de los materiales 3B y T.

El desplante de los materiales 3B y T, sobre el cauce del río, debe hacerse sobre roca cuya resistencia sea tal que no se pueda remover con tractor de 200 HP con hoja universal o en depósitos aluviales si éstos tienen buena calidad, entendiendo ésta como materiales bien graduados sin finos arcillosos y porcentaje de finos menor al 5% y con una compacidad correspondiente a una relación de vacíos igual o menor al material a desplantar o 0.25 (la que resulte menor). En las laderas, el desplante debe hacerse sobre roca cuya resistencia sea tal que no se pueda mover con tractor de 200 HP con hoja universal. En caso de que se encuentren zonas con defectos en la roca o bloques de roca sueltos, éstos deberán retirarse con herramientas adecuadas y rellenarse las depresiones con material de aluvión u otro material debidamente estudiado, compactado y aceptado por la comisión.



3.4.3 Cimentación para colocación del material 3C.

El material 3C se debe desplantar en aluvión de buena calidad, de acuerdo a lo expresado en el inciso anterior, o sobre otro material competente. Se debe eliminar el material inadecuado que aflore en la superficie, como árboles, hierba, arcilla, y en general materia orgánica, material alterado, depósitos arcillosos y areno-limosos; en el caso del material tipo Qdt (depósito de talud), deberá removerse por lo menos un espesor de 2,00 m, y el desplante sólo se iniciara cuando se tenga la aceptación de la comisión.

3.4.4 Cimentación para la colocación del material 4.

El material 4 se debe desplantar en aluvión existente o sobre otro material competente, en ambos casos aceptados por la comisión. Se debe eliminar el material inadecuado que aflore en la superficie, como árboles, hierba, arcilla, y en general materia orgánica, material alterado, depósitos arcillosos y areno-limosos, y el desplante sólo se iniciara cuando se tenga la aceptación de la comisión.

3.4.5 Cimentación para materiales 1B, 3H y 3G.

El material 1B se colocará directamente sobre la cara de concreto, cuidando de que el equipo de acarreo, tendido y compactación no transiten sobre la misma para no dañarla, hasta las elevaciones indicadas en planos. Debe ir protegido con los materiales 3H y 3G. Las condiciones de cimentación de estos materiales serán iguales al del material 3B.

3.4.6 Cimentación para filtro F sobre zona de diques geológicos.

El desplante del material F, sobre el cauce del río y sobre laderas, debe hacerse sobre la roca que conforma el dique geológico.

3.5 Plan para la obtención y transporte de los materiales.

De acuerdo con el programa de trabajo de las excavaciones de las estructuras, el de colocación de materiales de la presa y el de explotación de aluvión, se determina el origen y destino de los materiales, identificando los volúmenes provenientes de las excavaciones, de los bancos de préstamos, los volúmenes de almacenamiento y las distancias de acarreo a través de la red de caminos planificados y el sistema de banda previsto principalmente para los materiales de enrocamiento.

En los siguientes esquemas se presentan los diagramas de flujo de los acarreos de los materiales 3B, T, 3C y 4.



Flujo de los materiales.

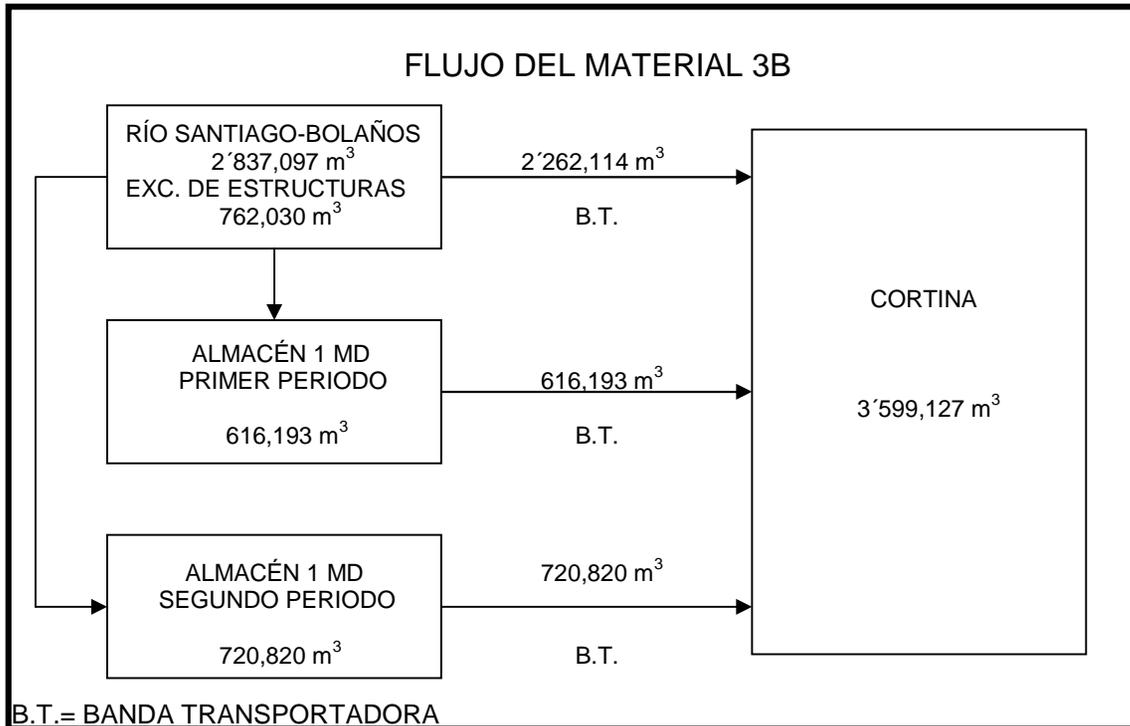


Fig. no. 22.- Plan para la transportación del material 3B a la cortina.

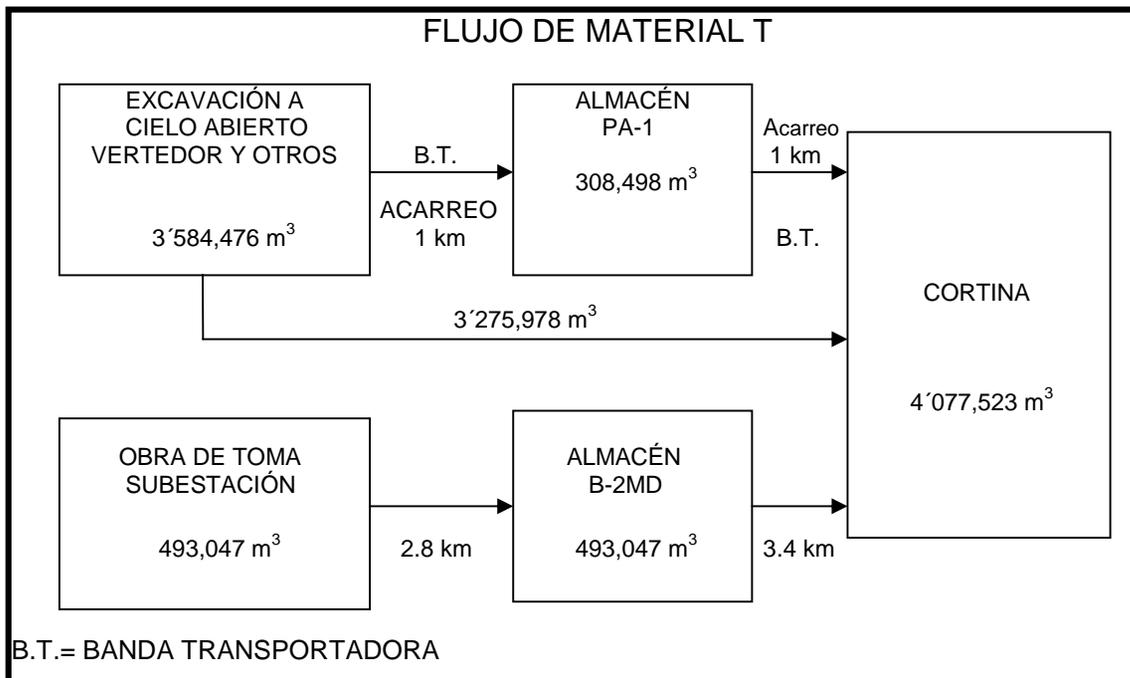


Fig. no. 23.- Plan para la transportación del material T.

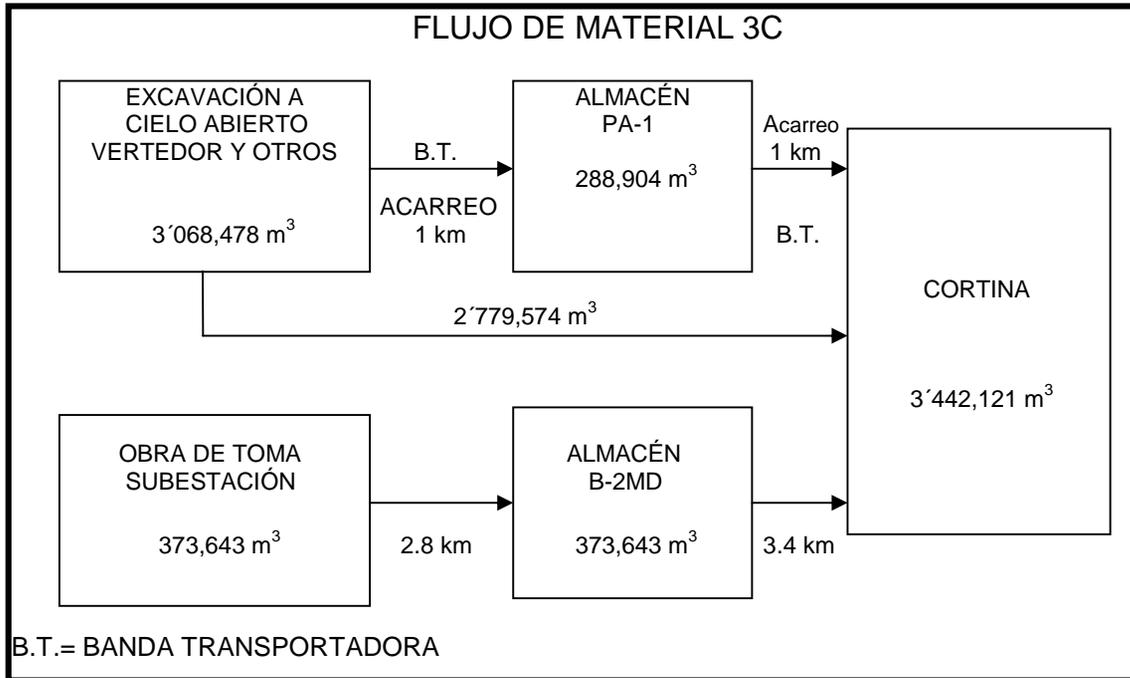


Fig. no. 24.- Plan para la transportación del material 3C.

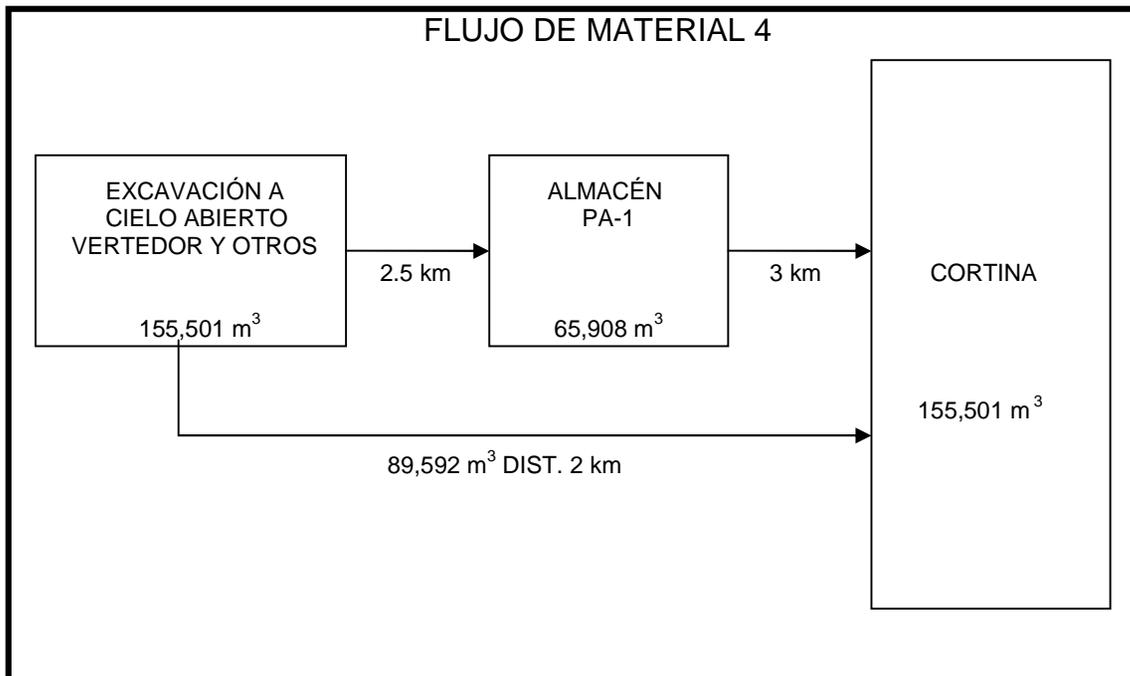


Fig. no. 25.- Plan para la transportación del material 4.



En los diagramas de flujo se pueden observar las cantidades de material que se extraen de las excavaciones de las estructuras o de los bancos de aluvión y su destino que puede ser en forma directa al sitio de colocación o al banco de almacenaje, condición marcada para los materiales 3B, T, 3C y 4.

Para el caso de los materiales 2, F y 2F que son producto del procesamiento de aluvión y otros, no se muestran los diagramas ya que el acarreo de estos se realiza de acuerdo al programa de colocación desde los sitios de almacenamiento ubicados en margen derecha aguas arriba del proyecto plataforma BD-1MD.

3.6 Etapas de construcción.

El proceso de relleno en la cortina se ha dividido en seis etapas de las cuales siempre se busca mantener un tramo avanzado del talud aguas arriba a efecto de que en forma secuencial los concretos en la cara puedan ejecutarse lo más pronto posible.

3.6.1 Primera etapa.

De acuerdo con el cronograma de trabajo se inicia la colocación de los materiales 3B, T, 3C y 4 en el cuerpo principal de la presa. Debido a las actividades en ejecución de la zona del plinto, de forma preliminar se concentra la colocación de materiales en la zona de aguas abajo., se coloca primeramente el material T que será el que marque el avance de las capas y posteriormente se nivelan los ubicados aguas arriba y aguas abajo. Una vez concluido los trabajos de construcción del plinto y dadas las condiciones para la cimentación de los materiales en el talud de aguas arriba de la cortina, se da inicio a la colocación del material 2 y 3B buscando en primer termino el cumplimiento de la fecha clave para la elevación 439,00msnm y posteriormente la elevación 470,00msnm. El volumen que integra esta primera gran etapa es de 3,181,302 m³, formado por los siguientes materiales:

Tabla no. 25.- Movimientos de material en la primera etapa de construcción.

Materiales	Descripción	Etapa						TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	
2	Apoyo a la cara de concreto	106,933						106,933
2F	Filtro protección junta perimetral	2,543						2,543
3B	Cuerpo principal de la presa	1,475,427						1,475,427
T	Enrocamiento-transición	889,421						889,421
3C	Enrocamiento respaldo aguas abajo	672,004						672,004
F	Filtro zona diques ladera izquierda	26,682						26,682
4	Enrocamiento talud aguas abajo	8,292						8,292
TOTAL		3,181,302						3,181,302

Especificaciones de obra civil ICA.



El material 3B se transporta por medio del sistema de banda, en el caso del material 2, 2F y F se transportaran desde la plataforma (BD-1MD) ubicada aguas arriba en la margen derecha y para los materiales de enrocamiento T y 3C desde la excavación del vertedor o desde el almacén (PA-1) por medio de volteos pesados y de la banda transportadora. El material 4 se acarrea por medio de volteo pesado desde la excavación del vertedor o desde el banco de almacenamiento (PA-1).

3.6.2 Segunda etapa.

Esta etapa consiste en nivelar la zona de aguas abajo del cuerpo principal de la cortina hasta la elevación 470,00, el volumen que integra esta segunda etapa es de 2,476,206 m³, formado por los siguientes materiales:

Tabla no. 26.- Movimientos de material en la segunda etapa de construcción.

Mats	Descripción	Etapa						TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	
3B	Cuerpo principal de la presa		320,529					320,529
T	Enrocamiento-transición		1,100,546					1,100,546
3C	Enrocamiento respaldo aguas abajo		1,029,869					1,029,869
4	Enrocamiento talud aguas abajo		25,262					25,262
	TOTAL		2,476,206					2,476,206

Especificaciones de obra civil ICA.

La forma en que se transportan los materiales, considerando el origen de los materiales para el caso del 3B aguas arriba en la plataforma BD-1MD por medio de la banda transportadora y la excavación del vertedor para el caso de los materiales de enrocamiento a través de la banda transportadora.

Durante la construcción de esta etapa se realizan los trabajos del deslizado de la cara de concreto correspondientes a la primera etapa entre las elevaciones 375,00 y 468,00msnm.

3.6.3 Tercera etapa.

La tercera etapa consiste en elevar el relleno de la presa en la zona de aguas arriba desde la elevación 470,00 hasta la elevación 516,00msnm. El volumen de esta etapa es de 1,265,725 m³ correspondiente al cuerpo principal de la cortina, integrado por los siguientes materiales:

Tabla no. 27.- Movimientos de material en la tercera etapa de construcción.

Mats	Descripción	Etapa						TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	
2	Apoyo a la cara de concreto			87,833				87,833
2F	Filtro protección junta perimetral			2,088				2,088
3B	Cuerpo principal de la presa			949,129				949,129

Especificaciones de obra civil ICA.



Tabla no. 27 cont.- Movimientos de material en la tercera etapa de construcción.

Mats	Descripción	Etapa						TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	
T	Enrocamiento-transición			220,082				220,082
F	Filtro zona diques ladera izquierda			6,619				6,619
TOTAL				1,126,752				1,126,752

Especificaciones de obra civil ICA.

La ruta de acarreo de los materiales (2 y 2F) de esta tercera etapa hacia los sitios de colocación se consideran de los bancos de margen derecha aguas arriba del proyecto para ingresar a la cortina en la elevación 470,00msnm. El material 3B se lleva a la cortina por medio del sistema de banda transportadora y el material T se acarrea desde la excavación del vertedor o desde la planta de trituración por medio del sistema de banda transportadora.

3.6.4 Cuarta etapa.

Esta consiste en nivelar la zona de aguas abajo a la elevación 516,00msnm para ello se tiene previsto realizar un primer relleno entre las elevaciones 470,00 y 490,00, a partir de esa elevación se deja una rampa de acceso por el talud de aguas abajo desde la elevación 490,00msnm hasta la elevación 516,00. Los materiales de enrocamiento tendrán como origen la excavación del vertedor y/o bancos de almacenamiento PA-1, el suministro de los materiales de enrocamiento 3C y T se hacen por medio de la banda. Para el material 4 la ruta de acceso consiste en transportar material desde la zona de aguas abajo pasando por la zona del vertedor en la elevación 470,00 y posteriormente alcanzar la traza de la cortina en la elevación 490,00msnm.

El volumen que integran esta etapa es de 2,226,687 m³ y esta formado por los siguientes materiales:

Tabla no. 28.- Movimientos de material en la cuarta etapa de construcción.

Mats	Descripción	Etapa						TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	
3B	Cuerpo principal de la presa				92,011			92,011
T	Enrocamiento-transición				989,593			989,593
3C	Enrocamiento respaldo aguas abajo				1,098,346			1,098,346
4	Enrocamiento talud aguas abajo				46,737			46,737
TOTAL					2,226,687			2,226,687

Especificaciones de obra civil ICA.

Se tiene programado que al concluir los deslizados de la cara de concreto de la primera etapa en la elevación 468,00msnm, se inicia la colocación de los materiales (1B, 3H y 3G) para protección de la cara de concreto. De acuerdo a los siguientes materiales:



Tabla no. 29.- Movimientos de material en la cuarta etapa de construcción.

Mats	Descripción	Etapa						TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	
1B	Protección de cara de concreto				20,030			20,030
3H	Protección de material 1B				42,724			42,724
3G	Estabilidad materiales 1B y 3H				244,764			244,764
TOTAL					312,518			312,518

Especificaciones de obra civil ICA.

El acarreo de los materiales 1B, 3H y 3G se hará desde los almacenes por medio de volteo pesado.

3.6.5 Quinta etapa.

Esta consiste en elevar el relleno de los materiales de la presa entre las elevaciones 516,00msnm y la elevación 564,00msnm, para ello se tiene planificado una etapa parcial (Va) entre las elevaciones 516,00 y 534,00. El acarreo para los materiales de enrocamiento será desde margen derecha por medio de volteo pesado partiendo del banco BD-2MD. Los materiales 2 y 2F se transportaran igualmente desde el banco BD-1MD por la margen derecha, para el caso del material 3B el acarreo se realiza a través de la banda transportadora.

Para complementar la etapa se continúa entre las elevaciones 534,00 y 564,00 Vb, en esta etapa se suspende el acarreo de los materiales rocosos por margen derecha en esta etapa se tomara desde la plataforma PA-1. Los materiales 2 y 2F se transportan por margen izquierda, el acarreo del material 3B se realiza por medio de banda transportadora hasta la elevación 549,40 y desde este punto se transporta sobre volteo pesado. Esta etapa esta integrada por todos los materiales que forman la zonificación haciendo un volumen de 2,318,925 m³, a continuación se muestra el detalle de los materiales:

Tabla no. 30.- Movimientos de material en la quinta etapa de construcción.

Mats	Descripción	Etapa						TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	
2	Apoyo a la cara de concreto					127,536		127,536
2F	Filtro protección junta perimetral					3,033		3,033
3B	Cuerpo principal de la presa					692,575		692,575
T	Enrocamiento-transición					815,331		815,331
3C	Enrocamiento respaldo aguas abajo					616,010		616,010
F	Filtro zona diques ladera izquierda					2,640		2,640
4	Enrocamiento talud aguas abajo					61,800		61,800
TOTAL						2,318,925		2,318,925

Especificaciones de obra civil ICA.

Al termino de esta se suspende parcialmente los trabajos de colocación de materiales para dar paso a la segunda etapa de deslizados en la cara de concreto entre las elevaciones 468,00 y 562,00msnm. Al término de este se cumplen las



condiciones por parte de la cortina para efectuar el cierre final de los túneles de desvío y recibir el embalse. El sistema de banda se retira de forma previa al cierre final de los túneles de desvío.

Durante esta etapa se complementan los trabajos de colocación de los materiales 1B, 3H y 3G que forman la protección sobre la cara de concreto de acuerdo a lo descrito en la cuarta etapa, en el cuadro siguiente se muestran las cantidades:

Tabla no. 31.- Movimientos de material en la quinta etapa de construcción.

Mats	Descripción	Etapa						TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	
1B	Protección de cara de concreto					13,353		13,353
3H	Protección de material 1B					31,815		31,815
3G	Estabilidad materiales 1B y 3H					163,174		163,174
TOTAL						208,342		208,342

Especificaciones de obra civil ICA.

3.6.6 Sexta etapa.

Esta es la última etapa de relleno de la presa, consiste en alcanzar la elevación 576,00msnm, para ello se tiene planificado al igual que en el numeral anterior ejecutar una etapa parcial sobre la margen izquierda que permite alcanzar la elevación 576,00msnm, el origen de los materiales será desde la plataforma PA-1; donde previamente se almacenan los materiales 2, 2F y 3B; el acarreo se hará por medio de volteo pesado. Los materiales de enrocamiento igualmente se transportan desde PA-1 usando la misma ruta de transporte ya descrita. Con la conclusión de la cuña sobre la margen izquierda se cambia el acceso del material a la cortina, ingresando por la margen derecha para completar la sección faltante correspondiente a la etapa VIb. Los materiales que integran la cuña complementaria se transportan en volteos pesados desde el banco BD-2MD. Los materiales que integran esta etapa se indican en el siguiente cuadro haciendo un volumen total de 212,058 m³:

Tabla no. 32.- Movimientos de material en la sexta etapa de construcción.

Mats	Descripción	Etapa						TOTAL
		I	II	III	IV	V	VI	
2	Apoyo a la cara de concreto						39,209	39,209
2F	Filtro protección junta perimetral						932	932
3B	Cuerpo principal de la presa						69,455	69,455
T	Enrocamiento-transición						62,550	62,550
3C	Enrocamiento respaldo aguas abajo						25,892	25,892
F	Filtro zona diques ladera izquierda						610	610
4	Enrocamiento talud aguas abajo						13,409	13,409
TOTAL							212,058	212,058

Especificaciones de obra civil ICA.



3.7 Procedimiento para la colocación de materiales.

3.7.1 Generalidades.

El desplante de los materiales en la cortina debe ser tal que no se presenten lentes, bolsas, franjas y ni capas de material sustancialmente diferente en granulometría de la que se encuentre alrededor, dentro de una misma zona de materiales. Todo el material debe ser extraído, transportado y colocado en tal forma que se asegura que el material no esté segregado antes ni después de ser extendido. El contratista debe poner especial atención para evitar a toda costa la segregación en cualquier tipo de material, específicamente en el contacto entre diferentes materiales o entre el contacto de los materiales y las laderas.

En cualquier material, las partículas de tamaño máximo deben quedar completamente embebidas en los materiales de menor tamaño y no sobresalir del plano superior de la capa.

Para ligar cualquier material en el talud de otro material ya colocado, se deben hacer cortes en el talud con una altura mínima igual al espesor de cada capa del material que se va a colocar; para garantizar su liga, estos cortes se deben ejecutar justo antes de colocar el nuevo material.

No se permitirá que los materiales rueden sobre los taludes de capas inferiores al momento del tendido, por lo que se deben dejar banquetas entre capas de diferentes elevaciones que permitan una liga continua de la compactación.

El contacto de las laderas con los materiales que conforman la cortina debe perfilarse de tal forma que se garantice la cobertura total de la compactación.

El contratista deberá instalar un sistema de rayos laser para verificar los espesores de capa antes y después de la compactación.

Se permitirán rampas temporales de acceso dentro del cuerpo de la cortina con una pendiente máxima de 15% y plataformas horizontales de volteo en las curvas. La carretera de acceso, sobre el talud de aguas abajo, debe tener una pendiente máxima de 10% con plataformas horizontales de giro y volteo de materiales. Esta carretera será permanente, se debe ubicar sobre materiales 3C y 4, de manera que debe obtenerse una superficie uniforme en la calzada del camino y en el talud aguas abajo.

Todo el material que se coloque en las rampas debe cumplir con lo especificado para el material de la zona donde se ubiquen las rampas. Para continuar la colocación de material en zonas de rampas, la remoción del material segregado del talud de la rampa debe hacerse horizontalmente en la longitud



necesaria para lograr una superficie vertical de contacto, entre el material colocado y el material por colocar, de altura mínima igual al espesor de la capa. Se debe tener especial cuidado en integrar el material segregado de la rampa con el material de la capa que se esté colocando, homogeneizándolo, si la homogeneización no se puede hacer por exceso de tamaños mayores, el material segregado debe retirarse de la cortina o colocarse en zonas que permitan esos tamaños. La construcción de todas las rampas debe ser revisada, observada y aceptada previamente por la comisión antes de su ejecución.

Para colocar el material en los baches o depresiones del desplante o cimentación de las estructuras, se debe usar un equipo tal que no vacíe una cantidad excesiva de material una sola vez. La colocación en tales sitios debe iniciar en el punto mas bajo del desplante o cimentación y continuar en capas horizontales de espesor especificado hasta que se rellenen todos los baches o depresiones del desplante o cimentación y que se forme una superficie de colocación suficientemente amplia para permitir la operación del equipo pesado de construcción.

No se permitirán la colocación de materiales en capas inclinadas con pendientes mayores de 5% y de preferencia las capas deben ser horizontales.

3.7.2 Procedimiento.

Objetivo.

Describir todas las actividades relacionadas con los trabajos de acarreo y colocación de los materiales para la construcción de la cortina.

Alcance.

Este procedimiento aplica para las actividades de acarreo y colocación de materiales para la construcción de la cortina.

Información técnica y/o referencias aplicables.

Planos.

- Los planos de construcción revisados y aprobados “Buenos para ejecución”.

Manuales.

- Plan de calidad.
- Plan de administración, seguridad y salud en el trabajo.
- Plan del sistema de protección ambiental.



Normas.

- Normas aplicables de las bases de licitación.

Especificaciones.

- Especificaciones técnicas del proyecto.
- Especificaciones contenidas en los planos de construcción.

Procedimientos.

- Plan de control de procesos.
- Plan de inspección y pruebas.

Definiciones.

- Datos de construcción: Información topográfica necesaria, marcada en el campo para ejecutar las excavaciones.
- Bando: Acomodo del material con el efecto de las orugas del tractor, dando varias pasadas sobre la franja de material.

Responsabilidades.

Gerente de construcción.

- Revisa y aprueba técnicamente el contenido del procedimiento.
- Gestiona los recursos necesarios para la ejecución de las actividades y la implantación del sistema de calidad, protección ambiental y la seguridad y salud en el trabajo.

Superintendente de construcción.

- Revisa planos, especificaciones y documentos relacionados con la construcción de la cortina y las responsabilidades del sistema de calidad, protección ambiental y la seguridad y salud en el trabajo.
- Planea y elabora el programa para la ejecución de los trabajos.
- Determina y administra los recursos.
- Coordina la elaboración de procedimientos de su área.
- Desarrolla el plan de control de procesos y verifica el cumplimiento del plan de inspección y pruebas.



Jefe de obra.

- Elabora el procedimiento de los trabajos.
- Difunde al personal de su área los procedimientos constructivos y los documentos del sistema de calidad, protección ambiental y la seguridad y la salud en el trabajo.
- Aplica y verifica la ejecución de la construcción de la cortina de acuerdo al procedimiento.
- Apoya y fomenta las pláticas de construcción previas a las actividades y las inducciones para el desarrollo de la calidad, protección ambiental y la seguridad y salud en el trabajo, de cada área.

Jefe de frente.

- Coordina y programa los recursos para cumplimiento de las producciones necesarias de acuerdo al programa vigente.
- Instruye y capacita al personal a su cargo para desarrollar los trabajos dentro de un marco de eficiencia, calidad, protección al medio ambiente y seguridad.
- Mantiene comunicación con el responsable del área de seguridad y salud en el trabajo para coordinar las actividades del acarreo de materiales.
- Suministra al capataz datos técnicos de los materiales y de las especificaciones de compactación por cada tipo de material que forma a la cortina.
- Es el responsable de cumplir durante el proceso constructivo, con el sistema de calidad, protección ambiental y la seguridad y salud en el trabajo.

Sobrestante de movimiento de tierras.

- Platica diariamente con su personal al inicio de la jornada de trabajo sobre aspectos de calidad, protección ambiental y salud en el trabajo.
- Supervisa y verifica el proceso de colocación y compactación de los materiales que forman la cortina.
- Coordina las actividades de carga, acarreo y depósito de los materiales.

Antecedentes.

El desplante de los materiales se llevara a cabo una vez realizado la limpieza total del terreno, desmonte, despalme, cimentación y perfilamiento.

De acuerdo con los planos de construcción, se identifica la zonificación de materiales que integra a cada estructura.



Los turnos en obras exteriores serán de 10 horas. Se trabajará de lunes a viernes dos turnos y los sábados sólo un turno.

Descripción del procedimiento.

Para la colocación de los materiales en la cortina, las cuadrillas de topografía marcan los datos de construcción necesarios para efectuar las excavaciones hasta los niveles requeridos, conformando el terreno natural de acuerdo a los niveles correspondientes para el desplante del relleno de la estructura. Una vez alcanzados estos niveles, se colocan las estacas identificando el ancho de la proyección de los taludes sobre el terreno natural y se marcan las trazas sobre las laderas para facilitar la delimitación de las fronteras entre materiales.

En el proceso de relleno en la cortina se ha dividido en seis etapas de las cuales siempre se busca mantener un tramo avanzado del talud aguas arriba a efecto de que en forma secuencial los concretos en la cara puedan ejecutarse lo más pronto posible.

En la primera etapa, se construye el terraplén para alcanzar inicialmente la elevación 439,00 a fin de dar cumplimiento a la fecha clave en la parte de aguas arriba.

Mientras no existan condiciones en la zona del plinto para colocar los materiales 2 y 3B se concentrará la colocación de materiales en la zona de aguas abajo entre las elevaciones 387,00 y 470,00; pero preferentemente se busca avanzar en la zona de aguas arriba puesto que se busca la elevación 470,00 para dejar el tramo listo para el primer deslizado de la cara de concreto entre las elevaciones 375,00 y 468,00.

En la segunda etapa, se construye el relleno entre las elevaciones 430,00 y 470,00 en la parte de aguas abajo, permitiendo mientras el avance de los concretos en la cara como primera etapa.

En forma semejante a lo indicado para las dos primeras etapas, se desarrollarán las siguientes dos etapas. La tercera etapa alcanza en el talud aguas arriba la elevación 516,00 manteniendo la zona de aguas abajo a la elevación 470,00.

En la cuarta etapa, se procederá a nivelar el terraplén a la elevación 516,00 y desde este nivel, el proceso es reiterativo hasta alcanzar la corona y los taludes aguas arriba y aguas abajo.

En la quinta etapa se efectuará el relleno entre las elevaciones 516,00 y la 564,00 permitiendo así la segunda etapa del deslizado de la losa, con esta



condición de la cortina concluida, se puede proceder al cierre final si así se decide y se cumplen todos los requisitos implícitos para la fecha establecida en el evento crítico correspondiente.

La sexta etapa consiste en construir el relleno entre las elevaciones 564,00 y la 576,00 para dar por terminado el proceso de colocación de relleno en la cortina.

Colocación de los materiales 2 y 2F.

Por las características granulométricas de los materiales en la zona 2 y 2F, se tiene previsto efectuar el acarreo de estos materiales con camiones articulados con capacidad de 30 ton y/o camiones de volteo con capacidad de 12 m³, que faciliten las actividades de descarga y maniobra en el sitio de colocación.

El material es cargado a los camiones por medio de cargador frontal sobre neumáticos en la zona de las pilas de almacenamiento adjuntos a la planta de estabilización y que está ubicada en la margen derecha aguas arriba del proyecto plataforma BD1MD. La descarga del material se hace sobre la tolva de un equipo pavimentador sobre orugas capaz de colocar la capa de material en estado suelto.

El material 2 es producto del procesamiento del aluvión en greña o del enrocamiento sano y mezclado con limo arenoso, de ser necesario, para la granulometría que se requiere para el proyecto, clasificado como grava-arena limosa con un contenido de finos no plásticos entre 5 y 9 %, y con un porcentaje mayor al 35 % de material que pase la malla N^o 4. Su tamaño máximo será de 5,08 cm.

El material 2F debe ser producto del procesamiento de los bancos de aluvión, clasificado como grava-arena limosa bien graduada con contenido de finos entre 6 y 11 %, y con un porcentaje mayor del 45 % de material que pase la malla N^o 4. Su tamaño máximo será de 3,8 cm. Por la ubicación de este material dentro de la zonificación de la cortina, se requiere de un proceso manual- mecánico para la colocación y extendido del material. Estas actividades se efectúan por medio de retro cargador y se complementa la conformación del material manualmente. El material es prehomogeneizado en el sitio de extracción por lo que se aplican riegos de mantenimiento para conservar la humedad óptima requerida durante la colocación. El proceso de compactación se realiza por medio de una placa vibratoria colocada sobre retro excavadora sobre orugas.

Los materiales en las zonas 2 y 2F se colocarán en capas no mayores de 40 cm de espesor, una vez tendido y antes de ser compactado y se deben compactar mediante las pasadas necesarias de rodillo liso vibratorio de 119 kN (12,2 ton) de peso mínimo estático en el tambor hasta cumplir con la relación de vacíos máxima especificada (densidad seca mínima) y con su contenido de agua óptimo +/- 1%.



Para el material 2 estos parámetros se podrán determinar mediante un terraplén de pruebas ejecutado antes del inicio de la colocación definitiva, con el equipo y el personal que ejecuta la colocación definitiva en la cortina. Para el material 2F los dos parámetros se determinarán mediante la prueba de proctor modificada. El coeficiente de permeabilidad de ambos materiales debe ser igual o menor que 10^{-3} cm/s.

Los materiales en estas zonas deberán ser colocados y tendidos sin segregación, y se debe tener cuidado para que se reduzca la caída de material 2 sobre la cara de aguas arriba de la cortina. El contratista debe tomar precauciones de seguridad y protección contra la caída del material para los elementos o personas que laboran en zonas abajo del talud de la cortina, y colocar los dispositivos necesarios para reducir la pérdida de material 2 sobre dicho talud. Los materiales 2 y 2F en el momento de su colocación deberán tener un contenido de agua igual al óptimo +/- 1%.

Durante la colocación de cada capa de los materiales de las zonas 2 y 2F, el talud de aguas arriba debe quedar dentro de una tolerancia adecuada para que al momento de compactar la zona cercana al talud la superficie del bordo se ajuste a la línea de diseño de la cara de concreto de la cortina. La compactación se deberá aplicar a una distancia no mayor de 5 cm del bordillo extrudido, con cobertura total.

No se permitirán depresiones en el talud mayores de 75 mm; en consecuencia, si después de compactado el material se aprecia cualquier depresión, el contratista debe realizar todos los trabajos necesarios para dejar el talud de acuerdo con la línea de diseño. El contratista deberá instalar un sistema de rayos láser para verificar que el talud de aguas arriba de la cortina esta alineado de acuerdo a proyecto.

Si el contenido de agua de material 2 es mayor que el especificado al momento de su colocación, o si adquiere más agua por la lluvia antes de ser compactado, deberá ser retirado y remplazado por material adecuado.

El material colocado deberá ser estable, es decir, no presentar deformaciones con el paso de los equipos de construcción.

En las zonas cercanas al plinto, a las laderas o en donde el rodillo no tenga acceso, el material 2 y 2F se compactarán con placa vibratoria.

Colocación del material 3B y T en cortina.

Material 3B.- Este material es el que marca el avance de la colocación para los materiales ubicados aguas arriba (2F y 2) de acuerdo con la zonificación de la



presa. El material es suministrado desde margen derecha aguas arriba del proyecto, para ello se contará con el sistema de banda transportadora de 48" de ancho que lleva el material hasta la zona de cortina. De acuerdo con el procedimiento de extracción del aluvión descrito, el material se envía a tiro directo a través de la banda transportadora de acuerdo con los requerimientos del programa de construcción, para las épocas en que los bancos de aluvión se encuentran inundados por el periodo de lluvias, se almacena previamente el material para cubrir la demanda de estos meses.

La banda tiene una capacidad de transporte de 2,000 ton/hora equivalente a 1,000 m³/hora, suficiente para dar cumplimiento a los volúmenes considerados en el histograma de materiales para el caso del 3B. Se ha planificado una sola posición de la banda para resolver las diferentes etapas de la cortina, la cual consiste en ubicar la banda sobre margen izquierda.

La banda es soportada por torres que son apoyadas en zapatas de cimentación, en la zona de colocación sobre la cortina se coloca una tolva de 1,000 ton de capacidad que recibe el material de la banda, esta a su vez lo descarga sobre los volteos pesados fuera de carretera de 50 ton de capacidad que acarrearán el material hasta la zona de colocación, posteriormente el proceso de tendido y compactación se realiza con tractor sobre orugas que tiende el material en el espesor de capa especificado, no mayor de 60 cm, una vez tendido y antes de ser compactado. Al estar conformada la capa se inicia el proceso de compactación aplicando 6 pasadas de rodillo liso vibratorio especificando con un peso en el tambor no menor de 119kN (12,2 ton) operándose en amplitud alta y sin agregar agua.

Materia T.- De acuerdo con la zonificación de la presa, este material es el que marca el avance de los materiales tanto de aguas arriba como para aguas abajo. Para su obtención se aprovecha al máximo la explotación de las estructuras del proyecto, por lo cual se suministra desde margen izquierda ya sea producto de las excavaciones y/o del banco de almacenamiento de material producto de roca (PA-1). El material es cargado por medio de cargador 990series II o similar, sobre volteos pesados de 50 ton CAT 773D o similar que lo transportan hasta el equipo de trituración primaria 118 X 122 cm (44" X 48"), posteriormente se alimenta la banda transportadora que lo lleva hasta la cortina a una tolva de 1,000 ton, la cual descarga sobre volteos pesados de 50 ton que lo transportan hasta el sitio de colocación, se descargan los camiones sobre la capa de avance y se inicia el proceso de tendido, en este momento, durante la carga y el tendido del material se efectúa la humectación agregando agua por medio de monitores y en proporción de 250 litros por metro cúbicos de material colocado. El extendido del material se realiza con tractor sobre orugas D8R o similar de acuerdo con el espesor especificado no mayor de 80 cm, después de tendido y antes de ser compactado, posteriormente se inicia el proceso de compactación aplicando 6



pasadas con el rodillo liso vibratorio especificado con un peso estático en el tambor no menor de 119kN. De acuerdo con el flujo de material T, existe un aporte de material producto de las excavaciones de la margen derecha el cual se suministra desde el banco BD-2MD y se transporta en volteo pesado de 50 ton de capacidad.

En cualquier caso, las partículas de tamaño máximo deben quedar completamente embebidas en los materiales de menor tamaño y no sobresalir del plano superior de la capa.

La construcción de rampas dentro de la zona de material 3B y T en la cortina se permite siempre y cuando se cumplan los siguientes requisitos:

- a) La construcción de todas las rampas estén aceptadas por la comisión.
- b) Todo el material que se coloque en las rampas cumpla con lo especificado para la zona donde se construya.
- c) Las pendientes temporales de los taludes laterales no deben ser mayores a las indicadas en los planos para los taludes de cada zona.
- d) Que al colocar material adyacente a una rampa, se remueve el material del talud de dicha rampa en forma sucesiva al colocar cada capa. La remoción del material del talud de la rampa debe hacerse horizontalmente en la longitud necesaria para lograr una superficie de contacto del material colocado con el material por colocar, de una altura mínima igual al espesor de la capa. La remoción del material ya colocado debe hacerse inmediatamente antes de colocar la capa que queda en contacto con el ya colocado y por consiguiente se permita que la superficie tenga un talud casi vertical.
- e) Que los sobretamaños del material que se descarguen en la zona de material 3B sean removidos de dicha zona y llevados a la zona de material 3C, o a zonas aceptadas por la comisión, si cumplen con los requisitos establecidos para materiales de dicha zona; en caso contrario se envían a las zonas de desecho.

Colocación del material de la zona 3C en cortina.

El material 3C lo constituye un aluvión o enrocamiento sano bien graduado producto de las excavaciones de la obra o de la cantera definida para ese fin, con la granulometría especificada en planos y tamaño máximo de partícula tal que quede perfectamente embebida en la capa y no provoque protuberancias en la superficie de la capa que dificulte la circulación del rodillo y la correspondiente compactación.



En cualquier caso, las partículas de tamaño máximo deben quedar completamente embebidas en los materiales de menor tamaño y no sobresalir del plano superior de la capa, y el contratista está obligado a remover cualquier partícula de roca que sobresalga de la capa, para garantizar la uniformidad en la compactación.

Este material se localiza aguas abajo del eje de la cortina. Para su obtención se aprovechan al máximo las excavaciones de las estructuras del proyecto, por lo cual se suministra desde margen izquierda y/o del banco de almacenamiento de material producto de roca (PA-1). El material es cargado por medio de cargador 990 o similar, sobre camiones de volteo de 50 ton CAT 773D o similar que lo transportan hasta el equipo de trituración primaria, posteriormente se alimenta la banda transportadora que lo lleva hasta la cortina a una tolva de 1,000 ton, la cual descarga sobre volteos pesados de 50 ton que lo transportan hasta el sitio de colocación, se descargan los camiones sobre las capas de avance y se inicia el proceso de tendido, en este momento, durante la descarga y tendido del material se efectúa la humectación agregando agua por medio de monitores en proporción de 250 litros por metro cúbico de material colocado. El extendido del material se realiza con tractor sobre orugas D8R de acuerdo con el espesor especificado no mayor de 100 cm una vez tendido y antes de compactarse, posteriormente se inicia el proceso de compactación aplicando 6 pasadas con el rodillo liso vibratorio especificado con un peso estático en el tambor no menor de 119kN. De acuerdo con el flujo del material 3C, existe un aporte de material producto de las excavaciones de la margen derecha el cual se suministra desde el banco BD-2MD y se transporta en volteo pesado de 50 ton de capacidad.

El aluvión y los enrocamientos se colocarán descargando el material desde una capa ya compactada hacia la nueva capa, balconéandolo para no producir segregación en las franjas ni en el tresbolillo, propiciando una concentración de mayores tamaños en el fondo de la capa a compactar. La distribución se efectuará con tractor hasta obtenerse el espesor de capa especificada y una superficie tersa (sin protuberancias ni baches) y visiblemente horizontal.

Los sobretamaños que sobresalgan de las capas en la colocación y que a juicio de la comisión interfieran con las operaciones de compactación, deben ser transportados hacia aguas abajo para su uso en la zona 4 ó a zonas de desecho.

La construcción de rampas temporales tiene las mismas limitaciones de la zona de material 3B, y se aceptan taludes en el enrocamiento con pendientes no mayores a la del talud 1,3 H: 1,0 V.



Colocación de material 4 o enrocamiento de protección en cortina.

El material 4 ó enrocamiento de protección debe estar formado por rocas sanas con tamaño mayor de 1,0 m y colocarse de tal forma que sus caras mayores queden apoyadas horizontalmente, y entrelazadas y ligadas al material 3C para evitar que se formen depósitos inestables o susceptibles de deslizamiento. El talud o paramento aguas debajo de la cara terminada de estos materiales debe cumplir con el diseño de la estructura y presentar una superficie uniforme y regular, para ofrecer a la vista un solo plano de terminación, para ello se deben colocar escantillones que sirvan de referencia al operador del tractor que los coloque.

Colocación del material 1B, 3H y 3G sobre la cara de concreto.

El material 1B consiste en una arena fina limosa con la distribución granulométrica que se muestra en el plano correspondiente.

El material 1B se debe colocar (tenderse) en capas de 40 cm de espesor suelto, evitando segregación.

El material 3H se colocará en contacto con el material 1B y consiste de una rezaga con 40 cm de tamaño máximo y con la distribución granulométrica indicada en los planos. Se debe colocar en capas de 40 cm de espesor y bandeando con al menos 4 pasadas del tractor D-8 o similar.

El material 3G se colocará en contacto con el material 3H y consiste de una rezaga con 80 cm de tamaño máximo y con la distribución granulométrica indicada en los planos. Se debe colocar en capas de 80 cm de espesor y bandeando con al menos 4 pasadas del tractor D-8 o similar.

Colocación del material sellante 1S en juntas de tensión, junta perimetral y juntas de compresión.

En todas las juntas de tensión, y en la junta perimetral plinto-losa, así como en las juntas de compresión ubicadas en el tercio medio de la cara de concreto, se debe colocar material sellante (ceniza volante o limo arenoso, de acuerdo a como se marque en los planos) en contenedores metálicos para garantizar un sellado contra filtraciones ante la eventual rotura de los sellos de cobre. Se debe colocar en estado suelto.

Filtro F sobre zonas de diques geológicos.

Por sus características granulométricas su producción será del procesamiento de aluvión y limo-arenoso. Se homogeniza en una planta de mezclado en el que se mezclan los componentes en las proporciones requeridas para lograr la curva



granulométrica, así mismo se adiciona el contenido de agua necesario para lograr el óptimo determinado en las pruebas de laboratorio, por su ubicación requerirá de un proceso de colocación mas cuidadoso que consistirá en procesos combinados mecánicos y manuales, se extenderá con tractor sobre orugas en el espesor de capa especificado, máximo 50 cm después de tendido y antes de ser compactado con cuatro pasadas de rodillo liso vibratorio de 119kN de peso estático de tambor. (12.2 ton).

3.7.3 Sistema de humectación.

De acuerdo con las necesidades de humectación de los materiales (T y 3C) especificado, en proporción de 250 litros por metro cúbico de material colocado, se determinó un consumo medio de agua para el momento de adicionarlo dentro del ciclo de trabajo de 85 litros/seg. de tal forma que la capacidad de dotación de agua no sea limitante a los rendimientos de colocación que se puedan lograr. En base a las etapas de construcción de la presa y a la propia dinámica de la colocación de materiales, se concluye que la conducción de agua se realice por medio de una red de tuberías sobre la ladera izquierda de la presa cuyo punto de abastecimiento sea el cárcamo de bombeo previsto para el achique del recinto.

Por las importantes variaciones en la carga de bombeo y considerando las etapas de construcción de la cortina, se tiene prevista la instalación de tanques para cambio de régimen en diferentes elevaciones. En estos depósitos se instalan equipos de bombeo que rebomban el agua al tanque superior o a la propia línea que alimentan los cañones para incrementar la presión de trabajo y cumplir con la dotación de agua requerida. Las bombas instaladas en el cárcamo principal para el achique del recinto y el suministro a las líneas de humectación son del tipo BIBO 2250 o BIBO 2400. En las estaciones de rebombeo se instalan bombas centrifugas de 10 cm (4") con potencias de 100HP.

La red de abastecimiento es una tubería de polietileno de alta densidad de 10" para la alimentación de los tanques de cambio de régimen. Posteriormente por gravedad o rebombeo a través de una línea de polietileno de alta densidad de 20 cm (8") de diámetro, distribuidas estratégicamente que permiten rápidamente la conexión a las mangueras que alimentan los motores o cañones del sistema de humectación. Las actividades de instalación de la red de abastecimiento se inician previo a la colocación de materiales y se adecuan conforme avanza el terraplén de la cortina. Para verificar el cumplimiento de las especificaciones relacionados con la adición de 250 litros de agua por metro cúbico de material colocado, cada mes se realizan aforos a los monitores en presencia del personal del contratista.



Fig. no. 26.- Colocación y humectación de materiales en la cortina.

3.7.4 Compactación.

Cada capa de material debe ser compactada con tantas pasadas del compactador hasta alcanzar la densidad seca del material si así se señala en estas especificaciones y/o en los planos de diseño, pero no menos de 4 pasadas si no se especifica otro valor. Debe hacerse de manera sistemática, ordenada y continúa.

Inmediatamente después de tender el material húmedo cuando así se indique, el equipo de compactación debe recorrer la capa en sentido paralelo a los ejes de la cortina y ataguías, exceptuando los sitios donde esto no sea práctico como en áreas donde el compactador dé vuelta, en las áreas adyacentes a los desplantes de estructuras, en partes bajas o en los sitios adyacentes a la instrumentación; en estos lugares el equipo de compactación debe recorrer la capa en el sentido que ofrezca la mejor compactación para el área.

Se deben tomar todas las providencias necesarias para que todo el material quede compactado con al menos, las pasadas que se especifican, por lo que no es válido dejar franjas contiguas de compactación en diferentes cadenamientos, es decir, se deben tener bien definidos los límites de áreas compactadas y sin compactar.

En zonas donde los materiales no pueden ser compactados con los rodillos lisos vibratorios, pueden utilizarse equipos manuales aceptados por la comisión.



Donde se requieran tales compactadores manuales, los materiales deben colocarse en capas de espesores menores que serán determinados por el contratista en el entendido de que deben obtenerse los mismos valores de compactación especificados para el material del cual se trate los diferentes materiales. El contratista debe operar cuidadosamente el equipo de compactación en lugares adyacentes a las estructuras, instrumentos y desplantes; cualquier daño a las estructuras debe ser reparado inmediatamente. En cualquier zona de la cortina en que se especifique compactación, ésta se debe hacer con cobertura total, es decir, no deben quedar áreas sin compactar.



Fig. no. 27.- Compactación de los materiales colocados en la cortina.

Los compactadores vibratorios deben desplazarse a una velocidad menor a setenta metros por minuto. La compactación en las líneas divisorias entre zonas de material o uniones de rampas de construcción, deben hacerse con el número mayor de pasadas especificadas para cualquiera de los materiales. El traslape entre franjas de compactación debe ser de 30 cm como mínimo (una franja es igual al ancho del rodillo).

La compactación con placa vibratoria debe darse con un mínimo de 4 toques de 3 segundos cada uno, por el área de la placa y traslaparse mínimo 10 cm y darse en 4 etapas o sea, cubrir toda el área a compactar con un toque y dar las 3 siguientes en la misma forma.



Equipo de compactación.

El contratista debe suministrar equipo de compactación que cumpla con los requisitos aquí especificados. Este equipo debe estar disponible en todo momento, mantenerse en, óptimas condiciones de operación y debe ser remplazado o reparado oportunamente cuando no se encuentre en condiciones óptimas de operación.

Cada compactador debe ser utilizado en los sitios y en la forma aquí especificada, no se permite el uso de equipos grandes en áreas difíciles de compactar.

El contratista deberá utilizar los equipos de compactadores que a continuación se especifican.

Compactadores vibratorios.

Para la compactación de todos los materiales granulares, excepto que se indique otra cosa, deben ser rodillos vibratorios lisos de acero, equipados con dispositivo apropiado para autolimpieza con el fin de evitar la acumulación de material en el rodillo durante la compactación. Los rodillos lisos vibratorios deben tener los siguientes pesos estáticos mínimos en el tambor según la zona por compactar:

Tabla no. 33.- Rodillo a utilizar según la sección a compactar.

Zona	Masa estática en el tambor en ton.
2 y 2F	Rodillo liso vibratorio de 119 kN
2 y 2F junto a las laderas y plinto	Placa vibratoria NPK-10
3B, T, 3C y Filtro F	Rodillo liso vibratorio de 119 kN

Especificaciones de obra civil ICA

La frecuencia de vibración de los rodillos vibratorios debe ser regulable y fácil de ajustar durante las operaciones de compactación. El contratista debe tener disponibles todos los instrumentos necesarios para comprobar en cualquier momento la velocidad, amplitud y frecuencia de vibración de los compactadores.

Compactadores manuales o ligeros.

Los compactadores manuales deberán producir compactaciones iguales a las que se obtengan con los compactadores vibratorios señalados en el punto anterior. Deben emplearse en los sitios de difícil acceso y operar con una frecuencia que no desplace el material ya colocado.



Compactación en el talud de la cortina.

La cara de aguas arriba de la cortina, formada por el material 2, el material 2F en la junta perimetral y todo el material adyacente al plinto que no puede ser compactado con rodillo, deberá ser compactada con la placa vibratoria NPK-10 hasta lograr la densidad seca especificada para cada tipo de material.

La superficie final compactada deberá coincidir con la línea de proyecto a fin de evitar espesores variables en la cara de concreto. Para lograr esto, el contratista debe contar con equipo de perfilamiento y alineación del bordillo controlado con un rayo láser.

El contratista debe prever la construcción de cunetas, lavaderos y otro tipo de obras de protección sobre las laderas a fin de evitar escurrimientos concentrados de agua de lluvia sobre la superficie de trabajo que puedan provocar erosión lateral o exceso de contenido de agua del material que impida su compactación adecuada. No se permite la descarga de drenajes (cunetas, lavaderos, tuberías, o cualquier otra vía de agua) hacia la cortina, entendiéndose como cortina el área que comprende el largo de la misma en su desplante (desde la zona mas baja del plinto hasta el desplante del enrocamiento o material 4, proyectada en forma vertical).

El contratista deberá construir barreras de protección a cada 30 m mínimo de altura, medidas verticalmente, formadas por barras de anclaje y mallas metálicas, con el objeto de evitar que piedras o cualquier tipo de material que se desprenda sobre el talud afecte los trabajos del plinto, arranque de losas u otras actividades que se realicen en las partes bajas del talud de la cortina. Estas protecciones deberán ser aceptadas por la comisión.

El contratista deberá dar mantenimiento de la superficie tratada hasta ser cubierta por las losas de concreto. Por lo tanto, todos los trabajos necesarios para evitar la ocurrencia de erosiones por lluvias, o concentraciones de flujo en las proximidades del plinto o en cualquier área del apoyo de las losas de concreto, deben ser previstos.

El contratista debe prever, diseñar y construir un sistema de drenaje para evitar el incremento de los niveles de agua en el interior de la cortina (y por tanto subpresiones en la losa de concreto que pudieran desestabilizarla), considerando que los enrocamientos (sólo ellos) se compactarán agregando agua. La capacidad del drenaje deberá ser al menos 1,5 veces el gasto de agua agregada, de tal manera que los niveles del agua nunca sobrepasen 5 m por arriba del nivel más bajo del plinto.



Concluidos los trabajos de colado de la cara de concreto y de la colocación del material de protección sobre la cara (materiales 1B, 3H y 3G), previa aceptación de la comisión, se puede suspender el drenaje, siempre y cuando se garantice que los niveles del agua dentro de la cortina no afecten la estabilidad de las losas de la cara de concreto.

Antes de terminar la colocación de los materiales 1B, 3H y 3G el contratista debe sellar perfectamente este drenaje, para evitar que sean una vía de filtración de agua.

3.7.5 Recursos: maquinaria, equipo y mano de obra.

- Retroexcavadora sobre orugas.
- Camión fuera de carretera 773D 50 ton.
- Camión de volteo 12 m³.
- Tractor sobre orugas D8R.
- Compactador vibratorio liso Hamm 3520 120 kN.
- Camión regador 10,00 lts para agua.
- Camión articulado 30 ton.
- Cargador frontal 966G.

El personal de construcción para esta actividad será asignado de acuerdo con el equipo y los turnos de trabajo.

- Jefe de obra.
- Sobrestante de colocación de materiales.
- Cabo de colocación de materiales.
- Operador de tractor.
- Operador de compactadora.
- Operador de retroexcavadora.
- Bordero.
- Banderero.
- Ayudante general de todas las áreas.
- Operador de bomba de agua.
- Maestro plomero.
- Checador de materiales.
- Operador camión fuera de carretera.
- Operador bordillera.
- Operador perforadora hidráulica.



3.8 Trabajos complementarios.

Bordo extrudido.

Se construye en el talud de aguas arriba y funciona como protección y proceso para la colocación del material 2. El material premezclado se transporta desde la planta dosificadora por medio de ollas revolventoras y se descarga en la tolva de una maquina extrusadora que coloca el material de acuerdo con la sección trapezoidal requerida. El proceso consiste en alinear la maquina sobre los datos marcados por la cuadrilla de topografía, quienes tienen un seguimiento permanente del alineamiento del equipo, para cumplir con el talud de proyecto especificado y evitar espesores en la etapa de construcción de la cara de concreto. La maquina extrusadora conforma la sección del bordo y se empuja hacia una nueva sección, apoyándose en la recién terminada. Transcurrida una hora después de la colocación del primer bordillo se procede a la colocación de material 2 que consiste en enrasar el material hasta el nivel del bordo, sin embargo dado el procedimiento de colocación por medio del pavimentador sobre oruga este tiempo de espera se puede acortar e iniciar de forma anticipada, posteriormente ejecutar la compactación dando el numero de pasadas que se hayan determinado en el terraplén de pruebas. En forma cíclica una vez concluido el proceso de compactación de la capa, se coloca el bordillo superior, la secuencia es permanente hasta alcanzar la elevación 576,00msnm. La mezcla de concreto para el bordo extrudido corresponde a una dosificación de grava y arena con una dotación de entre 70 y 75 Kg de cemento por metro cúbico. Como característica principal se requiere que dicha mezcla tenga un comportamiento estable una vez que se haya colocado la sección del bordillo, por lo que se requiere un revenimiento bajo que puede oscilar entre 0 y 3 cm.

Colocación de concreto en losas.

El concreto de la losa será de 24,5 MPa, con el espesor y el armado que indique el proyecto. El deslizado de la losa de concreto se hará en tres etapas acordes con el crecimiento de la cortina, es decir, una primera etapa a la elevación 468,00, la segunda etapa comprende hasta la elevación 562,00 y la final hasta el borde inferior del parapeto.

Deslizado losas etapa 1.

Se hará al inicio las losas de arranque para posteriormente construir en colado continuo las losas mediante cimbra deslizante alternándose entre ellas.

Las losas serán de 13 m de ancho, el espesor variará de 90 cm en la parte inferior, hasta 30 cm al llegar al parapeto. Esto se logrará modificando la pendiente de la cara exterior de la losa manteniendo la inclinación de la cara inferior.



Dentro del proceso de conformación del cuerpo de la cortina, se coloca en el extremo de aguas arriba un bordo de concreto extrudido de 30 cm, de forma trapezoidal con el lado externo inclinado con la pendiente del talud de diseño, presentando así una superficie a la losa deslizada. Este concreto tiene también la función de permitir la compactación de la esquina del material 2F y funciona para proteger el talud del material 2 ante los efectos de erosión por lluvia.

Se colocara la cimbra lateral a base de escuadras metálicas sobre las que se apoya la guía o perfil por el que se moviliza la cimbra deslizante, cada escuadra es alineada y nivelada de acuerdo a la rasante del talud. Entre cada escuadra se colocan tableros de madera.

Conforme la cimbra se va colocando se procede a la ubicación de armaduras de rigidización las cuales tienen como función garantizar la geometría del elemento durante todo el deslizado.

Terminando los trabajos de la cimbra lateral y de fijación de riel o guía, se procede a la maniobra de descenso de la cimbra deslizante desde la plataforma de trabajo a las diferentes elevaciones que se ha previsto. Esta maniobra la realiza un equipo tiendetubos o grúa hidráulica que coloca la cimbra sobre las guías.

Las cimbras serán de tipo deslizante, de perfiles de cero y charolas en la parte inferior forradas de lámina de acero, diseñadas para soportar los equipos de izaje, bombas hidráulicas, mangueras de alta presión, gatos hidráulicos y todo el equipo humano que realiza las actividades de colocación del concreto, las cimbras cuentan con dos plataformas de trabajo que permiten realizar la colocación del concreto.

Una vez que la cimbra se ubica en la posición de arranque del deslizado, se arma todo el sistema de izaje consistente en los gatos hidráulicos doble acción, sistema de mordazas (castañas), que son los elementos que permiten el corrimiento de la cimbra.

El vaciado de concreto se hará con canalones que lo conducen por gravedad desde la zona de descarga en la parte superior de la plataforma de trabajo hasta la cimbra deslizante.

Construcción de parapeto.

Al término de la construcción de la losa de concreto se procederá a la construcción del parapeto, el cual podrá ser prefabricado en el muro de aguas abajo y con cimbra telescópica en el muro de aguas arriba.



Losa de la cara aguas abajo.

Se construirá sobre el talud aguas abajo una losa de concreto para confinar la parte cercana al parapeto. Esta losa se hará con cimbra lateral fija y contra cimbra.

Losa de la cara de concreto.

Se construirá sobre el talud aguas abajo una losa de concreto para confinar la parte cercana al parapeto. Esta losa se hará con cimbra lateral fija y contracimbra.



IV.-PRUEBAS DE CAMPO Y CONTROL DE CALIDAD.

4.1 Pruebas de control de calidad en campo de los materiales colocados en cortina.

El contratista es el responsable de controlar la calidad de todos los materiales y de su colocación final, así como de los procesos de construcción del proyecto; por lo cual debe establecer un Sistema de Calidad, que asegure el cumplimiento de estas especificaciones y todas las normas aplicables.

Pruebas de los materiales en la cortina.

Durante la construcción, el contratista realizará pruebas de laboratorio para determinar la calidad de los materiales colocados, de acuerdo a lo que indica la siguiente tabla.

Tabla no. 34.- Pruebas de los materiales en la cortina.

Material	Calas volumétricas con determinación de peso volumétrico seco, granulometría, y densidad de sólidos y límites de plasticidad.	Pruebas de permeabilidad con determinación de granulometrías
2	Una cala por cada dos capas.	Una prueba de campo y de laboratorio por cada diez capas en las primeras 100 capas. Una prueba de campo cada veinticinco capas en el resto.
2F	Una cala por cada 100 m ³ de material colocado.	
3B	Una cala por cada 20,000 m ³ de material colocado.	Una prueba de campo por cada 50,000 m ³ de material colocado.
T	Una cala por cada 20,000 m ³ de material colocado.	Una prueba de campo por cada 75,000 m ³ de material colocado.
3C	Una cala por cada 150,000 m ³ de material colocado.	
1B	Una cala por cada dos capas. Cada dos capas se obtendrá la densidad seca, contenido de agua y límites de consistencia. Cada cuatro capas se obtendrá además la densidad de sólidos y la relación de vacíos.	

Especificaciones de obra civil ICA



En el caso de las pruebas de permeabilidad de acuerdo a la tabla se realizan una prueba en campo y otra en laboratorio en esta el material a utilizar se extraerá de la cortina para realizar las pruebas en laboratorio.

4.1.1 Procedimiento para calas volumétricas con determinación de peso volumétrico seco.

Objetivo.

Este procedimiento establece los lineamientos para determinar la densidad seca de un enrocamiento o suelo con partículas de 0,50 m y de 0.7 m de tamaño máximo, en el sitio.

Alcance.

Con este procedimiento se determina en campo, la densidad seca de suelos compactados artificialmente, de depósitos de suelos naturales, de mezclas de suelos y de otros materiales similares.

Los materiales deben tener la suficiente compacidad de tal manera que se mantengan estables las paredes de la cala. Esta prueba se utiliza generalmente en suelos granulares no sumergidos.

Como un dato adicional, es posible obtener también la relación de vacíos del enrocamiento o suelo, para lo cual se deberá tener la información de la densidad de sólidos del material.

Información técnica y referencias aplicables.

- SARH, "Manual de Mecánica de Suelos", Ed. Gráfica Panamericana, 3a. ed., 1978.
- ASTM D 2216 – 98 Método estándar de laboratorio para determinar el contenido de agua de suelos y rocas por masa.
- ASTM D 854 – 98 Método estándar para determinar gravedad específica de sólidos.
- Especificación de Construcción de Obra Civil de P.H. La Yesca.

Definiciones.

- Densidad Seca (D_s): Es la masa de las partículas sólidas y secas por unidad de volumen total (incluyendo vacíos), la unidad es el kg/m³ (kilogramo masa por m³). La densidad seca se calcula dividiendo la masa de los sólidos secos contenidos en la cala, entre el volumen de la misma.



Frecuentemente la densidad seca obtenida se utiliza como base de aceptación respecto a una densidad seca especificada.

- Relación De Vacíos (e): Es la relación existente entre el volumen de vacíos (Vv) en una muestra de enrocamiento y el volumen de sus sólidos (Vs).

Responsabilidades.

- Es responsabilidad del Laboratorio la obtención correcta de la muestra, así como la preparación y ensaye según aplique, y del constructor de las facilidades y apoyo para la ejecución de las pruebas correspondientes.

Antecedentes.

- Calibración de las buretas.
- Se limpian interiormente con agua y jabón.
- Se llenan las buretas y una a una se vacían en un recipiente aforado para determinar su volumen por unidad de altura, al mismo tiempo se hacen lecturas sobre el indicador de niveles para posteriormente tomarlo como referencia para determinar el volumen que se vierte dentro de la cala.
- Los resultados de la calibración se anotan en el cuadro siguiente, y se elabora una gráfica altura de la escala contra Volumen de la bureta.

Tabla no. 35.- Buretas 1 y 2 para calas volumétricas.

Bureta No. 1		Bureta No. 2	
Lectura en escala (cm)	Volumen (m ³)	Lectura en escala (cm)	Volumen (m ³)

Especificaciones de obra civil ICA.

Tabla no. 36.- Buretas 3 y 4 para calas volumétricas.

Bureta No. 3		Bureta No. 4	
Lectura en escala (cm)	Volumen (m ³)	Lectura en escala (cm)	Volumen (m ³)

Especificaciones de obra civil ICA

Procedimiento.

La prueba consiste en excavar una cala (pozo) en el suelo y obtener su volumen y el peso del material contenido en ella, determinándose al mismo tiempo el contenido de agua del material.



Determinación de la densidad seca en campo:

- Se llenan las buretas con agua y se trasladan al sitio de la excavación de la cala.
- Enrasar a nivel la superficie del suelo en el sitio donde se va a hacer la determinación de la densidad seca.
- Se coloca el aro sobre la superficie del suelo previamente nivelada y enrasada.
- Se coloca la membrana de polietileno sobre el aro y el suelo, se vierte agua de las buretas, hasta un nivel que se determina mediante el indicador de nivel, que se adosa al aro, previamente se toma la lectura inicial de las buretas a utilizar.
- Al quedar lleno el aro hasta ese nivel, se toma nuevamente la lectura de las buretas utilizadas para determinar el volumen de agua utilizado (vol_1).
- Se regresa el agua a las buretas mediante la bomba.
- Se procede a excavar el material existente dentro del aro, teniendo cuidado de no mover este último, el material excavado se deposita en el interior de los tambos, para su posterior traslado al laboratorio.
- El material excavado debe corresponder a todo el espesor de una capa.
- Una vez extraído todo el material de la cala, nuevamente se coloca el polietileno y se procede al llenado con agua hasta la marca que indica el indicador de nivel (que debe ser el mismo tomado para la determinación del vol_1 y se hacen las lecturas correspondientes de los niveles en las buretas vol_2).
- Por diferencia de volúmenes ($vol_1 - vol_2$), se determina el volumen del material excavado (V_m).
- En el laboratorio, se pesa todo el material extraído (W_{th}), se criba y cuartea para tomar una parte de aproximadamente 10 kg masa del material que pasa la malla de 7,6 cm para secarlo y determinar su contenido de agua () (de acuerdo a la norma ASTM D 2216). El peso seco del material extraído se obtiene con la siguiente ecuación:

$$W_s = W_{th} / (1 + \quad)$$

- Se obtiene también el valor de la densidad específica del material (densidad de sólidos, S_s), de acuerdo a la norma ASTM D-854.
- Se calcula la densidad seca del material siguiendo la secuencia del punto **(a)** La ecuación para la densidad seca (D_s) es:

$$D_s = W_s / V_m$$



- Mientras que la relación de vacíos se obtiene con la siguiente ecuación:

$$e = (S_s/D_s) - \gamma_s$$

- El peso volumétrico seco es igual a:

$$\gamma_s = g D_s$$

Donde:

D_s =Densidad seca, en kg/m^3 .

e =Relación de vacíos, adimensional.

γ_s =Peso volumétrico seco, en kN/m^3 (kg/m^3).

g =Aceleración de la gravedad, igual a 9.807 m/s^2 .

(a) Para la determinación del volumen de una cala, se establecen lo siguiente:

- En primer término se hace la lectura entre el material colocado (sin la excavación) y la marca del indicador de niveles; normalmente se usa una bureta para este paso.
- Al finalizar la excavación de la cala se hace la lectura de las buretas que se usaron para medir el volumen entre el fondo de la excavación y la marca del indicador de niveles; normalmente se usa más de una bureta.
- La diferencia entre las dos lecturas corresponde al volumen del material excavado.
- Los volúmenes se pueden determinar en litros (l) o metros cúbicos (m^3).

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.



Recursos.

Equipo y Materiales.

- Cuatro buretas con volumen aproximado de 1,5 metros cúbicos, con indicadores de nivel, montadas sobre un camión (una bureta de 0,4 m de diámetro y tres de 0,6 m de diámetro).
- Bomba de agua con 5 cm de diámetro (de entrada y salida), para llenado de buretas.
- Aros de acero de 1,5 m y 2,0 m de diámetro y 0,20 m de altura con dispositivos indicadores de nivel. (El aro de 1,5 m de diámetro se utiliza para tamaño máximo de partícula de 0,50 m y el de 2,0 m para tamaño máximo de partícula de 0,70 m de diámetro).

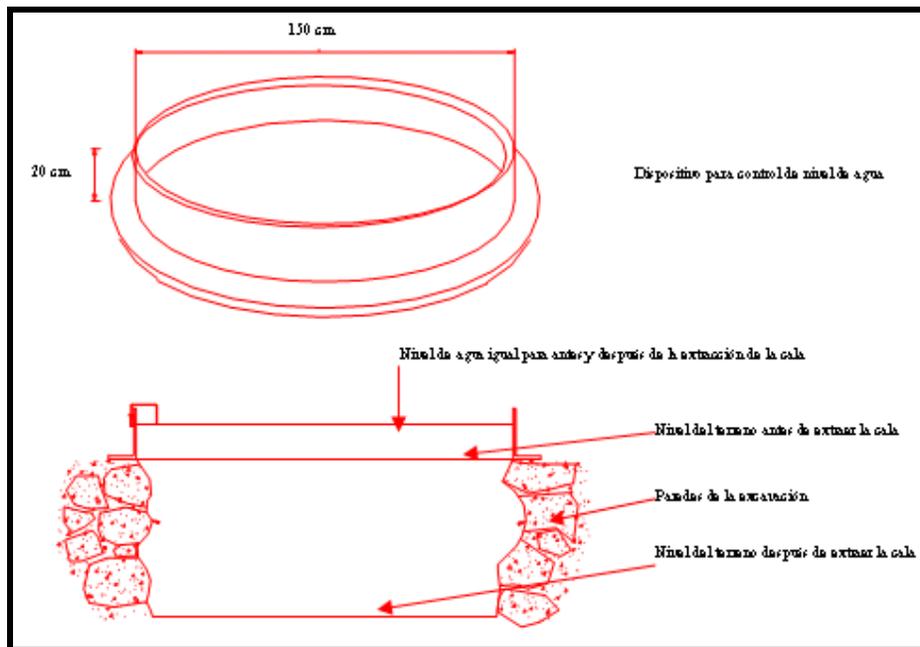


Fig. no. 28.- Aros de acero para la prueba de calas volumétricas.

- Tambos con volumen de $0,2 \text{ m}^3$ cada uno, para almacenar el material producto de la cala.
- Las dimensiones indicadas en ella son aceptables para materiales que tienen un tamaño máximo de partículas de 0,50 m y para una cala de aproximadamente 1 m^3 de volumen.
- Cuando el tamaño de las partículas es mayor a 0,50 m se necesitan dispositivos y dimensiones de calas más grandes, además de una grúa tipo Hiab montada sobre el mismo camión, para izar los fragmentos de roca que no puedan ser movidos manualmente.



- Los detalles de las buretas se muestran enseguida:

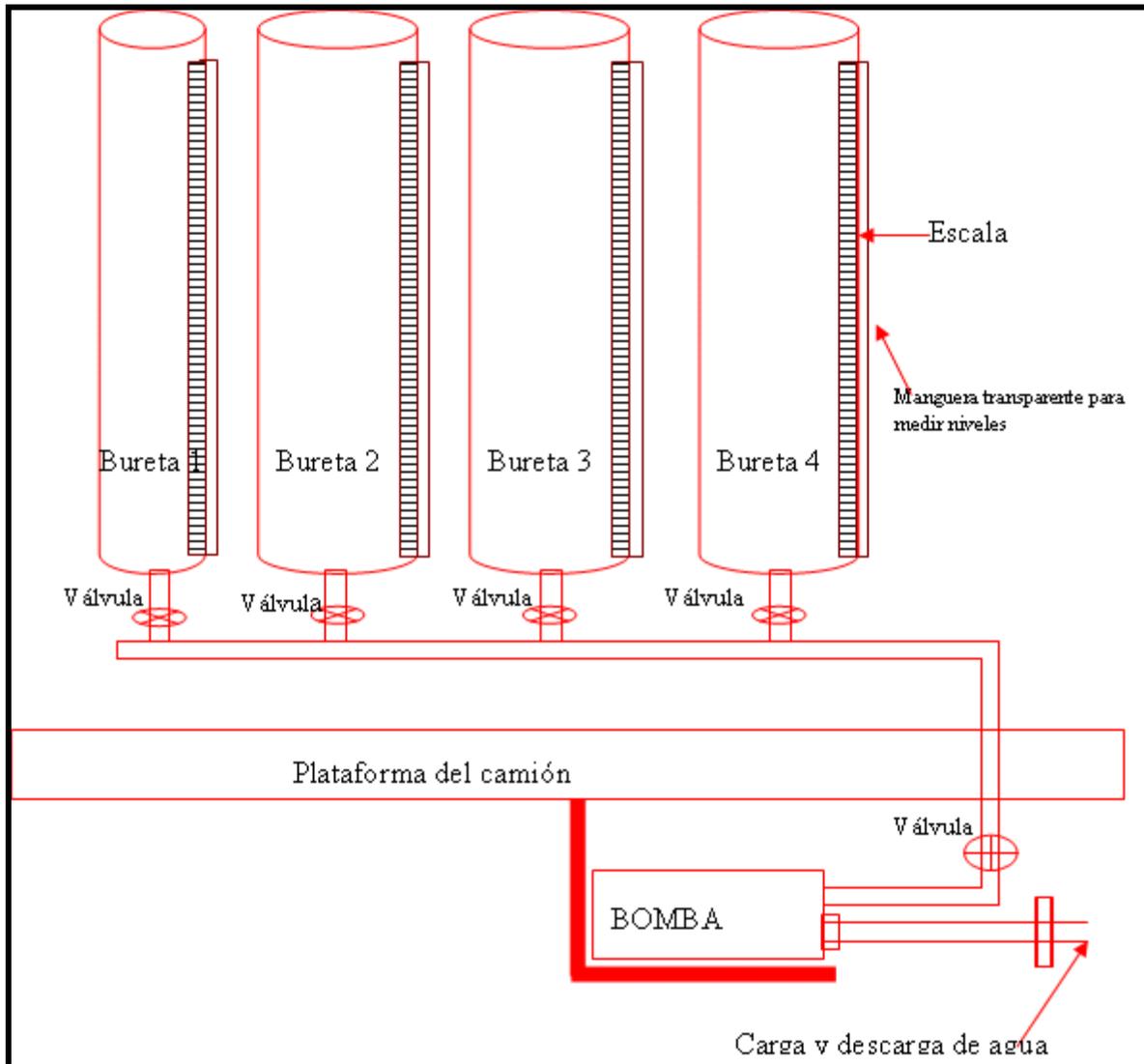


Fig. no. 29.- Buretas para la prueba de calas volumétricas.

- Balanza con capacidad mínima de 9800 N y 1,0 N de exactitud (1,000 kg y 100 g).
- Balanza con capacidad de 196 N y 0,010 N de exactitud (20 kg y 1 g).
- Horno eléctrico con regulador de temperatura y desecador.
- Materiales varios: cinta masking tape, franela, flexómetro, charolas de lámina, regla metálica para enrasar la superficie del suelo, cincel, martillo, espátula de cuchillo, nivel de burbuja, pico, pala redonda y pala cuadrada, barreta de acero de 1 m de longitud y membrana de polietileno de 0.003x4x4 m.



Mano de Obra.

- Laboratorista.
- Auxiliares (3).

Reporte visual de una de cala volumétrica en cortina.



Fig. no. 30.- Inicio de la excavación.



Fig. no. 31.- Comprobando la profundidad requerida para la prueba.



Fig. no. 32.- Pozo listo para iniciar el llenado.



Fig. no. 33.- Colocación del polietileno.



Fig. no. 34.- Llenado del pozo.



Fig. no. 35.- Una vez lleno el pozo se toman las lecturas de las buretas.



4.1.2 Procedimiento para prueba de permeabilidad en campo.

Objetivo.

El objetivo de la prueba es determinar el coeficiente de permeabilidad de los materiales colocados y compactados en cortina del P.H. La Yesca.

Alcance.

Este Manual describe el procedimiento de prueba tipo Lefranc para determinar el coeficiente de permeabilidad de los materiales 2, 3B y T para cortina.

Información técnica y/o referencias aplicables.

- Especificaciones de construcción de obra civil.

Responsabilidades.

- Es responsabilidad del Coordinador de Control de Calidad, la implantación de este procedimiento.
- Es responsabilidad del ingeniero de campo, verificar la correcta aplicación y utilización del contenido de este procedimiento, según el alcance establecido.
- Es responsabilidad de los Laboratoristas como elementos ejecutores, conocer el contenido de este procedimiento y aplicarlo correctamente, en las actividades que se desarrollan en el Laboratorio de Control de Calidad.

Definiciones.

- Coeficiente de permeabilidad: El coeficiente de permeabilidad es una característica de los suelos, específicamente está ligado a la Ley de Darcy que se refiere al flujo de fluidos a través de los suelos. El coeficiente de permeabilidad, generalmente representado por la letra k , es extremadamente variable, según el tipo de suelo.

Antecedentes.

La permeabilidad en la roca a través de grietas, fracturamientos y fisuras, se mide por medio de las pruebas Lugeon, pero cuando la naturaleza del terreno no permite hacer este tipo de ensayos, por ser granulares, se aprovecha su permeabilidad natural para que en la perforación se hagan pruebas Lefranc. En este tipo de pruebas efectuadas en capas de arena, limo, aluviones, escombros, etc., en los cuales la velocidad del flujo es lenta, la perforación debe quedar



ademada y únicamente el tramo de prueba situado en la parte inferior de la tubería, quedará libre.

El coeficiente de permeabilidad es una característica de los suelos, específicamente está ligado a la Ley de Darcy que se refiere al flujo de fluidos a través de los suelos. El coeficiente de permeabilidad, generalmente representado por la letra k , es extremadamente variable, según el tipo de suelo.

Clasificación de los suelos según su coeficiente de permeabilidad

Tabla no. 37.- Coeficiente de permeabilidad

Grado de permeabilidad	K (cm/s)
Elevada	$> a 10^{-1}$
Media	$10^{-1} a 10^{-3}$
Baja	$10^{-3} a 10^{-5}$
Muy baja	$10^{-5} a 10^{-7}$
Prácticamente impermeable	$< de 10^{-7}$

Desarrollo.

Perforación.

La perforación que es una de las condiciones más importantes para la ejecución correcta de una prueba Lefranc, se deberá hacer preferentemente con una perforadora rotatoria con broca de tungsteno, sin extraer corazones; o como último recurso, con máquina de percusión, siempre y cuando se pueda ir ademando la perforación. La broca deberá ser de preferencia, de tipo NX, o sea 7.6 cm. (3") de en caso de usar otro diámetro, se deberá reportar para tomarlo en cuenta en la cuantificación del coeficiente de permeabilidad. Es indispensable que el procedimiento de perforación no modifique las condiciones naturales del terreno, por lo que se deberá evitar el uso del barro, bentonita o cementación en la protección de caídos, ya que con esto se taponarían los pequeños vacíos del material por probar. La perforación con agua es indispensable, aunque esta condición no es suficiente porque con cualquier perforadora de más o menos intensidad, los sedimentos de los cortes taponarían las paredes del pozo; sin embargo esto no se puede evitar.

Es conveniente evitar hacer las pruebas de permeabilidad sobre longitudes de perforación demasiado grandes, si se desea tener una permeabilidad real del terreno, una longitud máxima de 50 m para un tramo es conveniente, utilizando como límites la cámara filtrante del fondo de la perforación y la parte inferior del



ademe. En la mayoría de los casos, la herramienta de perforación deja una cavidad uniforme debido a la cohesión del terreno, pero en algunas ocasiones se debe recurrir para mantener esta condición, al relleno de gravas gruesas, que dejan vacíos suficientemente grandes para que el agua de la prueba no pierda pérdida de carga considerable, o se puede recurrir al acondicionamiento de un tubo del mismo ademe, con perforaciones o ranuras, para que a través de ellas circule el agua, teniendo como única condición en este caso, que la superficie ranurada no sea menor del 15% de la superficie total del tubo, cuya longitud es la del tramo de prueba. Debido a la gran cantidad de condiciones que se presentan al realizar este tipo de ensayos, únicamente nos estamos refiriendo al caso en que se cuenta con una cámara filtrante definida. Para otros casos, se recurrirá a procedimientos especiales para formar la cavidad.

Inyección de gasto constante.

En general, consiste en un tanque, en el que la carga sea constante para el primer caso, o en una bomba con tanque de control de bombeo para el segundo. Además se requiere instalar una válvula de paso, una válvula de compuerta o globo para el control y un medidor de volúmenes, independientemente del cronómetro, la sonda eléctrica y los recipientes con medidas conocidas para hacer las comprobaciones del volumen que se esta inyectando.

En todos los casos de ensayos Lefranc, las pruebas se van efectuando a medida que avanza la perforación, es decir, una vez que la perforadora ha llegado a la profundidad de la parte inferior del tramo por probar, se levantará la barrena hasta el nivel superior, volviéndolo a bajar para comprobar si no se presentaron modificaciones por caídos en la cámara filtrante. Si esto sucede, se bajará el ademe hasta el fondo, vertiendo una cantidad de grava suficiente para cubrir la longitud del tramo. Inmediatamente se levantará el ademe hasta su posición original.

La prueba se inicia vertiendo agua dentro de la perforación, calibrando con la válvula de control hasta que el nivel se estabilice, con una carga de 10 m aproximadamente a partir del centro de la cámara filtrante. En ese instante se principiará a contar el tiempo de prueba, que por lo general es de 10 min. Tiempo en que continuamente se estará comprobando con la sonda eléctrica que no varíe el nivel estable. Terminado el tiempo de prueba, se tomará en el medidor el volumen inyectado.

Para las siguientes observaciones se irá disminuyendo el caudal, con lo que los niveles estables irán bajando y en cada operación se tomará el tiempo y el volumen inyectado. Es necesario tomar el volumen agregado en litros, el tiempo de observación en segundos y las profundidades del nivel estable (h) en m con



estos datos se calculará el gasto Q en lts/seg. y la carga H . Es importante anotar las profundidades del tramo en estudio, el diámetro de la perforación (D), la distancia entre el terreno natural y la boca del ademe (p) y la longitud de la cámara filtrante.

A la escala más conveniente, sobre el eje horizontal se marcan los puntos correspondientes a los gastos en lts/seg. y en el eje vertical, las cargas H en m, con lo que se obtendrán tantos puntos como observaciones se hayan realizado. Si el ensayo fue correcto, quedarán alineados perfectamente a lo largo de una recta que pase por el origen de los ejes.

Cálculos

Para el primer caso, si se denomina por H la diferencia de carga total correspondiente al gasto Q , la permeabilidad estará dada por:

$$K = C (Q/H)$$

En donde C es un coeficiente que depende de las dimensiones y forma de la cámara de filtrante, que para efectos de esta prueba se considerará como un elipsoide de revolución con el eje corto igual con D y una distancia focal F .

K = en m/seg.

C = en $1/m = m^{-1}$

Q = en $m^3 / \text{seg.}$

H = en metros

$$C = \frac{\text{Log} \left[\frac{1}{D} + \sqrt{\frac{L}{D^2} + 1} \right]}{4\pi r(L/D)}$$

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.



Recursos.

Equipo y materiales.

- Equipo de perforación.
- Equipo de bombeo.
- Manómetro.
- Medidor de agua.
- Válvula.
- Obturador.

Mano de Obra.

- Laboratorista.
- Auxiliares (3).

4.1.3 Procedimiento para prueba de permeabilidad de laboratorio.

Objetivo.

Este método cubre la determinación del coeficiente de permeabilidad para un flujo laminar de agua a través de una masa de suelo. El procedimiento establece valores representativos del coeficiente de permeabilidad de capas colocadas de material 2.

Alcance.

Con este procedimiento se determina en laboratorio, la permeabilidad de suelos compactados artificialmente, de depósitos de suelos naturales, de mezclas de suelos y de otros materiales similares.

Información técnica y/o referencias aplicables.

- Especificación de Construcción de Obra Civil de P.H. La Yesca.

Definiciones.

El flujo de agua a través de medios porosos, como lo es el suelo, está gobernado por una ley descubierta experimentalmente por Henri Darcy en 1856. El investigó las características del flujo del agua a través de filtros, formados por materiales térreos, lo cual facilitó la aplicación de los resultados de la investigación a la mecánica de suelos.



Darcy encontró que para velocidades suficientemente pequeñas, el gasto (caudal) queda expresado por:

$$Q = \frac{dV}{dt} = kAi(\text{cm}^3/\text{s})$$

"A" es el área total de la sección transversal del filtro e "i" el gradiente hidráulico del flujo, medido con la expresión:

$$i = \frac{(h_1-h_2)}{L}$$

La ecuación de continuidad del gasto establece:

$$Q = A * v$$

Siendo A el área del conducto y v la velocidad del flujo. Llevando esta expresión a la Ley de Darcy, se deduce que:

$$v = k * i$$

O sea, que donde la ley de Darcy es aplicable, la velocidad del flujo es directamente proporcional al gradiente hidráulico; esto indica que, dentro del campo de aplicabilidad de la ley de Darcy, el flujo en el suelo es laminar.

En las ecuaciones relacionadas con la ley de Darcy, aparece una constante física de proporcionalidad, k, llamada el Coeficiente de Permeabilidad y puede verse que sus unidades son las correspondientes a una velocidad. Esto se ha utilizado para definir en términos simples el coeficiente de permeabilidad de un suelo como la velocidad del agua a través del mismo, cuando está sujeta a un gradiente hidráulico unitario. El valor de k indica la mayor o menor facilidad con que el agua fluye a través del suelo, estando sujeta a un gradiente hidráulico dado.

Responsabilidades.

Es responsabilidad del Laboratorio la obtención correcta de la muestra, así como la preparación y ensaye según aplique, y del constructor de las facilidades y apoyo para la ejecución de las pruebas correspondientes.

Procedimiento.

Para medir la permeabilidad de un suelo en el laboratorio se usan comúnmente los permeámetros tanto de cabeza constante como de cabeza variable, en esencia el esquema y el montaje es el siguiente:



- Celda o cámara donde se ubica el suelo.
- Un depósito o tanque de almacenamiento y suministro de agua, que se comunica a la cámara mediante alguna conexión o válvula. El nivel del tanque puede mantenerse constante o variable según sea el tipo de ensayo.
- Tres piezómetros que se conectan al interior del suelo y que van a escalas graduadas que permiten determinar la diferencia entre el nivel de los piezómetros.

El esquema de los permeámetros es el siguiente:

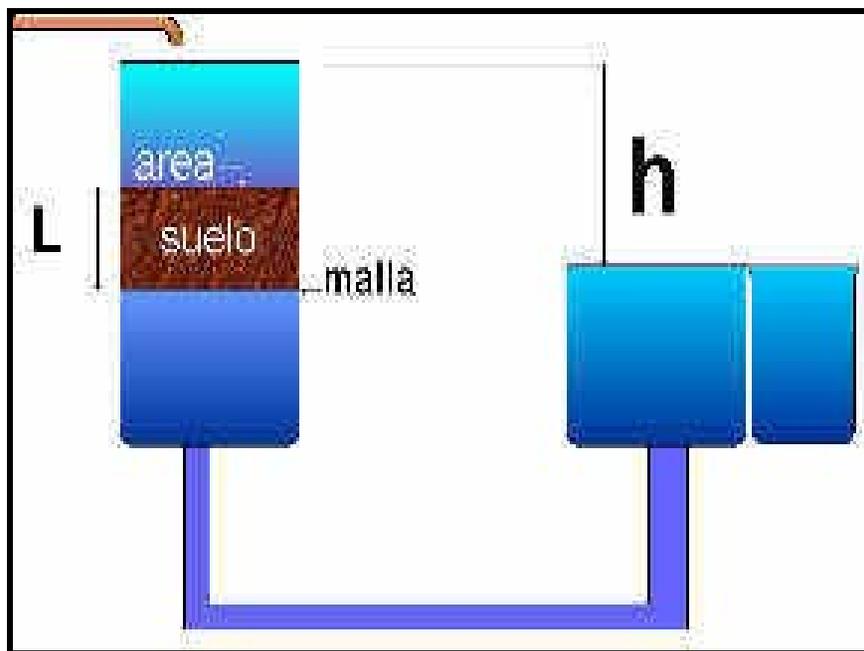


Fig. no. 36.- Permeámetro de carga constante.

Una muestra de suelo de área transversal A y longitud L , confinada en un tubo, se somete a una carga hidráulica h . El agua fluye a través de la muestra, midiéndose la cantidad de agua (en cm^3) que pasa en el tiempo t . Aplicando la ley de Darcy:

$$V = k * A * i * t$$

Donde: V es la mencionada cantidad de agua.

$i = h/L$: El gradiente hidráulico medio vale:

$$h = h_1 - h_2$$



Entonces:

$$K = \frac{VL}{hAt}$$

Este tipo de permeámetro es aplicable para suelos friccionantes, ya que en suelos poco permeables, el tiempo de prueba se hace tan largo, que deja de ser práctico, usando gradientes hidráulicos razonables.

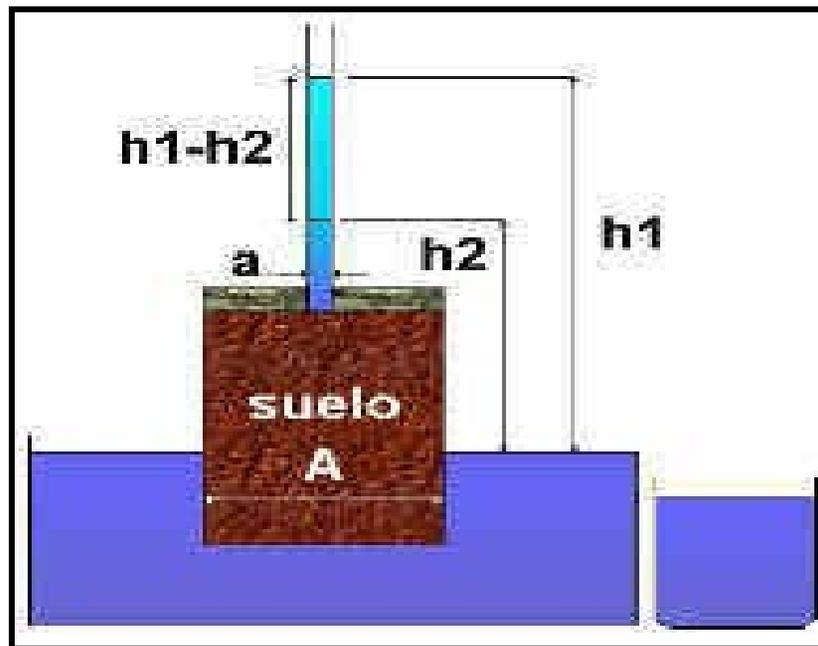


Fig. no. 37.- Permeámetro de carga variable.

En este tipo de permeámetro se mide la cantidad de agua que atraviesa una muestra de suelo, por diferencia de niveles en un tubo alimentador. Este permeámetro puede ser utilizado en suelos finos y gruesos variando el diámetro del tubo alimentador, pero lo más común es utilizarlo con los suelos finos poco permeables.

Al ejecutar la prueba se llena de agua el tubo vertical del permeámetro, observándose su descenso a medida que el agua atraviesa la muestra. En este caso debemos tener en cuenta:

- a = Área del tubo vertical de carga.
- A = Área de la muestra.
- L = Longitud de la muestra.
- h_1 = Carga hidráulica al principio de la prueba.
- h_2 = Carga hidráulica al final de la prueba.



- h_c = Altura de ascensión capilar, que debe deducirse de la lectura total del tubo de carga.
- t = Tiempo requerido para que la carga hidráulica pase de h_1 a h_2 .

El coeficiente de permeabilidad del suelo en este caso se calcula como:

$$K = \frac{aL}{At} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.

4.1.4 Parámetros de liberación o rechazo de materiales colocados y compactados en cortina de acuerdo a especificaciones.

La compactación es el término que se utiliza para describir el proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos; el incremento de densidad se obtiene al disminuir el contenido de aire en los vacíos en tanto se mantienen el contenido de humedad aproximadamente constante.

En la práctica, de compactación se realiza con frecuencia sobre los materiales que se utilizan para rellenos en la construcción de terraplenes, pero también puede realizarse in situ con suelos naturales en proyectos de mejoramiento del terreno. El principal objetivo de la compactación es mejorar las propiedades ingenieriles del material, tales como:

- Aumentar la resistencia al corte y, por consiguiente, mejorar la estabilidad de terraplenes y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.
- Disminuir la compresibilidad y, por consiguiente, reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos y reducir la permeabilidad.
- Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.



El grado compactación de un suelo o de un relleno se mide cuantitativamente mediante la densidad seca. La densidad seca que se obtiene mediante un proceso de compactación depende de la energía utilizada durante la compactación, denominada energía de compactación, también depende del contenido de humedad durante la misma.

Las relaciones típicas entre la densidad seca. El contenido de humedad y la energía de compactación se obtienen a partir de ensayos de compactación en el laboratorio.

La calidad durante un proceso de compactación en campo se mide a partir de un parámetro conocido como grado de compactación, el cual presenta un cierto porcentaje. Su evaluación involucra la determinación previa del peso específico y de la humedad óptima correspondiente a la capa de material ya compactado. Este método es para conocer el grado de compactación, es un método destructivo ya que se basa en determinar el peso específico seco de campo a partir del material extraído de una muestra, la cual se realiza sobre la capa de material ya compactado.

Se define como grado de compactación de un suelo compactado en la obra a la relación, en porcentaje, entre el peso volumétrico seco obtenido por el equipo en campo y el máximo correspondiente a la prueba de laboratorio que fundamento el estudio.

El grado de compactación de un suelo es:

$$G_c(\%) = 100 \frac{\gamma_d}{\gamma_{dm\acute{a}x}}$$

Donde:

G_c = grado de compactación en %

γ_d = peso volumétrico seco obtenido por el equipo en campo

$\gamma_{dm\acute{a}x}$ = peso específico máximo obtenido en laboratorio

La S.C.T. tiene por norma de no compactar al menos del 90% en ningún caso, y exige por lo general el 95% en una porción superior en los terraplenes y el 100% en las capas subrasantes; estos grados de compactación se refieren a las pruebas de compactación de laboratorio. En la siguiente tabla representa una guía sobre los grados de compactación mínimo a usarse dependiendo del tipo de suelo y del tipo de obra:



Tabla no. 38.- Grado de compactación.

Tipo de suelo	Grado de compactación, según importancia y el tipo de obra por ejecutar.		
	Tipo		
	1	2	3
GW	97	94	90
GP	97	94	90
GM	98	94	90
GC	98	94	90
SW	97	95	91
SP	98	95	91
SM	98	95	91
SC	99	96	92
ML	100	96	92
CL	100	96	92
OL	-	96	93
MH	-	97	93
CH	-	-	93
OH	-	97	93

S.C.T.

- Tipo 1. Terraplenes de más de 30 m de altura. los 2 m superiores bajo cimentaciones de edificios de dos o más pisos o de puentes y pasos a desnivel.
- Tipo 2. Partes inferiores de los rellenos bajo edificios, Terraplenes de menos de 30 m de altura.
- Tipo 3. Otros suelos que requieren compactación, sin grandes requerimientos de resistencia.

En base a esto sabemos que nuestra material es un suelo clasificado como GP en base a pruebas posteriores se determina que el grado de compactación mínimo a cumplir es de 97% para poder liberar una capa de material colocado y compactado en la cortina. En caso de que alguna cala proporcione resultados que no cumplan con lo especificado, se deben realizar tres calas más. Todas estas calas adicionales deben cumplir con la especificación. Si esto no se cumple, se tendrá que retirar el material en toda la zona probada, este será depositado en la zona de material de desperdicio y tendrá que ser sustituido por un material que cumpla con lo especificado en este índice.



4.2 Pruebas de control de calidad en laboratorio de los materiales colocados en cortina.

Una vez que se ha liberado la capa de material colocado el contratista procede a la realización de las pruebas índices al material extraído en la realización de las calas o de las pruebas de permeabilidad, para determinar la calidad de los materiales colocados, de acuerdo a lo que indica la siguiente tabla.

Tabla no. 39.- Pruebas a realizar por tipo de material.

Cala Volumétrica						
	Material					
Prueba	2	2F	3B	T	3C	1B
Granulometría	x	x	X	x	x	x
Densidad de Sólidos	x	x	X	x	x	x
Limites de Plasticidad	x	x	X	x	x	x

Especificaciones de obra civil ICA.

Tabla no. 40.- Pruebas a realizar por tipo de material.

Prueba de Permeabilidad			
	Material		
Prueba	2	3B	T
Granulometría	x	x	x

Especificaciones de obra civil ICA.

Nota: Los materiales extraídos de las pruebas en campo reciben un trato previo a las pruebas, es decir, son puestos a secar, son disgregados y se cuarteán las muestras obtenidas, para después realizar la granulometría, todos estos procedimientos ya fueron explicados en el capítulo 2 y aplican en este capítulo para todos los materiales extraídos de la cortina a continuación la lista de los procedimientos antes mencionados:

- 2.4.3 Procedimiento para la realización de secado y disgregado.
- 2.4.5 Procedimiento para reducción de muestras al tamaño de prueba de material 2, 2F, F, 1B y material que pasa la malla de 3" obtenido de los materiales 3B, T Y 3C.
- 2.4.5 Procedimiento para prueba de granulometría de materiales.
- 2.4.6 Procedimiento para la obtención de la densidad de sólidos del material que pasa la malla N° 4.
- 2.4.7 Procedimiento para obtención de gravedad específica, absorción y peso unitario de agregado grueso.

Una vez realizado este recordatorio solo se procederá a explicar el procedimiento faltante de las pruebas realizadas en laboratorio.



4.2.1 Procedimiento para prueba de límites de plasticidad.

Objetivo.

Esta prueba permite determinar las características de plasticidad de la porción de los materiales que pasa la malla No. 40, cuyos resultados se utilizan principalmente para clasificar suelos.

Alcance.

Este procedimiento aplica para la determinación del límite líquido de la porción de material que pasa la malla No. 40 y así también su límite plástico.

Información técnica y/o referencias aplicables.

- Especificaciones de construcción de obra civil del P. H. La Yesca.
- ASTM D-4318. Método estándar para determinar límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

Definiciones y terminología.

- Plasticidad: Propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse. Según su contenido de agua en orden decreciente, un suelo susceptible de ser plástico puede estar en cualquiera de los siguientes estados, definidos por Atterberg.
- Estado líquido: Con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- Estado semilíquido: Con las propiedades de un fluido viscoso.
- Estado plástico: En el que el suelo se comporta plásticamente.
- Estado semisólido: En el que el suelo tiene una apariencia de un sólido, pero aun disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- Estado sólido: En el que el volumen del suelo no disminuye con el secado.
- Los límites de consistencia son las fronteras existentes por las que atraviesa el suelo al cambiar su humedad pasando por los estados anteriormente mencionados.
- Límite líquido: Frontera convencional entre los estados semilíquido y plástico.
- Límite plástico: Frontera convencional entre los estados plástico y semisólido.
- Índice de plasticidad: Se define como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico.



Responsabilidades.

Es responsabilidad del Jefe de Laboratorio, conocer este procedimiento para asegurar y asegurar mediante supervisión periódica a sus subalternos, como son los laboratoristas y los auxiliares de laboratorio, así como los cálculos para la obtención de los resultados de las pruebas.

Antecedentes.

Revisar que el equipo se encuentre limpio, calibrado y completo en todas sus partes y en condiciones de operación.

Procedimiento.

Calibración del equipo.

Antes de comenzar la prueba debe verificarse que la altura de caída de la copa de Casagrande sea de 1 cm., utilizando para ello el mango calibrado del ranurador. Si la altura es diferente a esta altura debe corregirse mediante los tornillos de ajuste.

Preparación de la muestra.

De la muestra total se extrae una porción de material aproximadamente de 300 g, dicha porción debe pasar la malla No. 40, este material se coloca en una charola.

Del material seleccionado anteriormente se extraen 250 g aproximadamente, se obtiene y registra el peso del material separado.

Se coloca el material en un recipiente y se le agrega agua de manera que quede saturado, y se deja reposar 24 horas en un lugar fresco y cubriendo el recipiente con un paño de manera que se evite la pérdida de humedad.

Determinación del límite líquido por el método estándar.

De la fracción preparada (saturada) se retira una porción de aproximadamente 150 g y se coloca en la capsula de porcelana para homogeneizarla con ayuda de una espátula.

En la Copa de Casagrande, previamente calibrada, se coloca una cantidad de material, de manera que una vez extendido alcance un espesor de 8 a 10 mm en la parte central de la copa, considerando lo siguiente:



Para extender el material en la copa se procede del centro hacia los lados, sin aplicar presión excesiva en el material y con el mínimo de pasadas de la espátula.

Mediante una pasada firme del ranurador se hace una abertura en el centro del material contenido en la copa, por lo cual se mantendrá siempre ortogonal a la superficie de la copa.

Colocado y ranurado el material, se acciona la manivela del aparato para hacer caer la copa a razón de dos golpes por segundo, registrando el número de golpes necesario para que los extremos de la ranura se unan al centro aproximadamente 13 mm.

Logrado lo anterior se toma una porción de aproximadamente 10 g del contenido de la copa donde se ubica la ranura y se coloca en una tara para determinar su contenido de humedad de acuerdo a lo establecido en la sección de contenido de humedad.

Una vez extraído el material para la determinación de contenido de humedad, se procede a devolver a la capsula el material restante dentro de la copa y se integra con el resto de material contenido en esta. Se procede a limpiar el ranurador y la copa retirando el material de residuo.

Inmediatamente se agrega agua al material contenido en la capsula y se homogeniza con la espátula, este material se prueba como se indicó en los párrafos anteriores hasta completar 4 determinaciones que se registran en el formato establecido. La cantidad de agua agregada al material debe ser tal que la cantidad de golpes en la copa queden comprendidos 10 y 35, siendo necesario obtener dos valores por arriba y dos por debajo de los 25 golpes.

Se grafican los puntos obtenidos en cada determinación, representando en el eje de las abscisas en escala logarítmica, y en el de las ordenadas en escala aritmética los respectivos contenidos de agua de cada determinación. Se traza una línea recta uniendo los puntos de la grafica y dicha línea se denomina línea de fluidez.

De la grafica de las iteraciones se obtiene el límite líquido, determinando en la curva de fluidez el contenido de agua correspondiente a 25 golpes.

Determinación del límite plástico.

De la porción de material que se dejó en saturación, se toma una cantidad suficiente para formar una pequeña esfera aproximadamente de 12 mm de diámetro, la cual se moldea con las manos a manera de que pierda humedad formando un cilindro.



A continuación el cilindro se hace girar con los dedos sobre una placa de vidrio para reducir su diámetro hasta que se acerque a los 3 mm en toda su longitud. La velocidad de rolado será de 60 a 80 ciclos por minuto.

Si al alcanzar un diámetro de 3 mm el cilindro no se rompe en 3 partes simultáneamente quiere decir que su contenido de agua excede al del límite plástico. En tal caso se integra nuevamente el material formando nuevamente la pequeña esfera y volviendo a manipularla hasta que se logre que el cilindro se rompa y se fisure al alcanzar los 3 mm de diámetro.

Inmediatamente después de obtener los trozos del cilindro con contenido de agua igual al del límite plástico se colocan sobre un vidrio de reloj para determinar su contenido de humedad.

Determinación del índice de plasticidad.

Una vez calculado el límite líquido y el límite plástico se determina el índice plástico, definido como la diferencia del límite líquido y el límite plástico mediante la siguiente expresión.

$$I_p = \omega_L - \omega_p$$

Donde:

I_p = índice de plasticidad expresado en porcentaje.

ω_L = Límite líquido del material expresado en porcentaje.

ω_p = Límite plástico del material, expresado en porcentaje.

NOTA: Cuando el material sea muy arenoso y no pueda determinarse el límite plástico, se reporta índice plástico y límite plástico como NP (no plástico).

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.



Recursos.

Equipo y materiales.

- Malla No. 40.
- Copa de Casagrande.
- Balanza de capacidad de 1000 g y aproximación de 0.01 g.
- Horno eléctrico provisto de termostato capaz de mantener una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Vaso de aluminio o recipiente.
- Capsula de porcelana.
- Espátula flexible.
- Cuentagotas.
- Vidrios de reloj o capsulas.
- Paño.
- Placa de vidrio.
- Ranurador.

Nota: cuando el material es muy plástico, es decir para materiales puramente cohesivos e utiliza el ranurador plano y para otros materiales se utiliza el ranurador curvo.

4.2.2 Pruebas adicionales en los materiales 3B, T y 3C

En el caso de estos materiales se realizaran pruebas adicionales a las ya mencionadas anteriormente, en la siguiente tabla se puede observar las pruebas a las que serán sometidos dichos materiales y la frecuencia con la que se realizaran dichas pruebas.

Tabla no. 41.- Pruebas de laboratorio, adicionales a realizar por tipo de material.

Material	Rotura de granos y Resistencia en compresión simple	Índice de solidez (absorción, abrasión, intemperismo acelerado)
3B	Una prueba de rotura de granos por cada 50,000 m ³ de material colocado. Tres pruebas de compresión simple cada 75,000 m ³ de material colocado (en núcleos extraídos de fragmentos de roca)	Dos pruebas por cada 100,000 m ³ de material colocado.
T	Una prueba de rotura de granos por cada 50,000 m ³ de material colocado. Tres pruebas de compresión simple cada 75,000 m ³ de material colocado (en núcleos extraídos de fragmentos de roca)	Dos pruebas por cada 100,000 m ³ de material colocado.
3C	Una prueba de rotura de granos por cada 50,000 m ³ de material colocado. Tres pruebas de compresión simple cada 75,000 m ³ de material colocado (en núcleos extraídos de fragmentos de roca)	Dos pruebas por cada 100,000 m ³ de material colocado.

Especificaciones de obra civil ICA.



4.2.2.1 Procedimiento para prueba de rotura de granos de los materiales 3B, T y 3C para cortina.

Objetivo.

Estudiar el comportamiento mecánico de los materiales 3B, T y 3C, cuando son sometidas a cargas cíclicas de diferente magnitud y larga duración, utilizados para la conformación de la cortina del P.H La Yesca.

Alcance.

Conocer y entender cuáles son las variables más significativas que hacen que la rotura de granos sea más susceptible a presentarse en los materiales 3B, T y 3C bajo ciertas condiciones de trabajo.

Información técnica y/o referencias aplicables.

SCT. Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas.

Definiciones.

- Composición granulométrica: Esta prueba consiste en separar por tamaños los fragmentos de roca y partículas de suelo, pasándolo a través de una sucesión de mallas de aberturas cuadradas y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, expresando dichos retenidos como porcentajes en peso de la muestra total.
- Rotura de granos: Se presenta como una serie de ensayos de compresión confinada y bajo carga repetida, en material basáltico triturado utilizado para la construcción de la cortina. Se pone en evidencia la rotura de granos por medio de una comparación de las curvas granulométricas antes y después del ensayo, y se cuantifica dicha rotura por medio del coeficiente de rotura de granos definido por Marshall, 1965. Se muestra que un material con una granulometría uniforme sufre una rotura de granos mucho mayor que un material bien graduado, lo que permite sugerir el uso de granulometrías bien graduadas en las especificaciones para balasto, contrariamente al material sumamente uniforme recomendado actualmente a nivel mundial.

Responsabilidades.

- Es responsabilidad del Coordinador de Control de Calidad, la implantación de este procedimiento.



- Es responsabilidad del ingeniero de campo, verificar la correcta aplicación y utilización del contenido de este procedimiento, según el alcance establecido.
- Es responsabilidad de los Laboratoristas como elementos ejecutores, conocer el contenido de este procedimiento y aplicarlo correctamente, en las actividades que se desarrollan en el Laboratorio de Control de Calidad.

Antecedentes.

Índice de solidez de los granos.

Las propiedades físicas de las partículas o fragmentos de roca varían notablemente no sólo en las gravas y arenas que contienen los granos más competentes arrastrados por el agua dentro de cuencas con geología diversa, sino también en los enrocamientos explotados de una misma fuente, por causa del intemperismo y los defectos naturales (diaclasas, inyecciones hidrotermales, cavidades, etc.) y los inducidos por el explosivo y el manejo de la roca durante su extracción, transporte y colocación.

Con objeto de conocer en forma preliminar la solidez del enrocamiento o de la grava y arena, se realizan pruebas índices. Las pruebas de referencia son:

- a) Absorción de agua.
- b) Desgaste o abrasión de Los Ángeles.
- c) Intemperismo acelerado.

Las pruebas anteriores muestran resultados que de alguna manera indican la calidad de los materiales que se estudian. Por ejemplo, un agregado con porcentajes de desgaste bajos en la prueba de Los Ángeles y en la de intemperismo, seguramente indicará que el material en cuestión tendrá un buen comportamiento mecánico; es decir, buena resistencia y baja compresibilidad.

Granulometría.

Las propiedades mecánicas de un material granular dependen de la forma y rugosidad de los granos y de la composición granulométrica, además de otros parámetros.

En los correspondientes ensayos a materiales de varios enrocamientos y gravas de la presa "El Infiernillo" se modificó la granulometría con el fin de investigar la influencia de la granulometría en la resistencia al corte, rotura de granos y compresibilidad.



Es usual describir las curvas granulométricas mediante el diámetro efectivo (D10), el coeficiente de uniformidad (Cu), y el coeficiente de curvatura (Cc); esto con fines de clasificación del material.

Rotura de granos.

El índice de solidez de los granos y la granulometría no son suficientes para evaluar el producto obtenido en cantera con explosivos. Los ensayos de compresión triaxial, deformación plana y compresión unidimensional, indican que los granos de un enrocamiento experimentan rotura de granos, aún cuando se opere a niveles de esfuerzo relativamente bajos. Las pruebas índice y la inspección visual de los fragmentos de roca proporcionan una idea de la importancia que puede tener dicha rotura en cada caso, pero no es posible con esta información, valorar su magnitud e influencia en otras características como la compresibilidad. Debido a esto se ha diseñado una prueba que somete a los fragmentos de roca a estados de esfuerzo (fuerzas concentradas en los contactos y condiciones de apoyo diversas) similares a las que se presentan dentro de una masa granular. Dicha prueba consiste en aplicar a tres granos de aproximadamente igual tamaño, d_m , fuerzas transmitidas mediante una placa de acero; se miden el número de contactos, N_c , y la carga, P , que produce la rotura del primer grano. La relación P/N_c es el valor P_a denominado carga de ruptura de la roca, para la dimensión del diámetro medio (d_m).

Las cargas P_a varían debido a que la prueba de ruptura no solo involucra condiciones de apoyo muy diversas en las partículas, sino también la presencia de defectos naturales en la roca (fisuras, poros, relleno de grietas, alteración, etc.). Con los estudios de ruptura se define la relación empírica:

$$P_a = n d_m$$

La expresión de P_a en términos de d_m puede justificarse mediante los estudios realizados por Joisel (1962; citado por Marshall, 1969) y la teoría de Griffith (1921; citado por Marshall, 1969) sobre la propagación de grietas en una masa afectada por huecos. Combinando dichas proposiciones Marshall (1969) concluye que la ruptura P_a es proporcional a la dimensión del grano elevado a la potencia $3/2$, en donde n y y son constantes para cada material. De los estudios realizados por Marshall el exponente varía entre 1.2 y 2.2 para las rocas ensayadas.

Tanto en las pruebas triaxiales como en las de compresión unidimensional y deformación plana, se estudió la rotura de granos producida por los esfuerzos a que estuvo sometido el espécimen, a partir de las granulometrías inicial y final. Dadas las curvas granulométricas inicial y final se encuentran las diferencias entre los pesos retenidos inicial y final a las fracciones de cierto diámetro nominal. Se ha



definido como rotura de granos, B, a la suma de los valores positivos de las diferencias en los pesos, que representa el porcentaje en peso de los granos que han sufrido fragmentación (Marshall 1965).

Además de aplicar los siguientes procedimientos antes de realizar la prueba:

- Procedimiento para el muestreo de los materiales 3B, T y 3C.
- Procedimiento para prueba de granulometría de materiales.

Descripción del procedimiento.

Después del muestreo correspondiente se procedió con el cribado para separar por tamaños el material. Ya cribado el material se procedió a la dosificación de la granulometría del mismo, la cual corresponde a la denominación D4 de las normas de la SCT. El material de denominación D4 está ubicado en una zona granulométrica, establecida por especificaciones. Con la dosificación de la granulometría se elaboraron las probetas para realizar los ensayos bajo carga repetida.

Marco de carga.

El Sistema Dinámico de Ensaye a Materiales, es una consola de control avanzado mediante un multiprocesador, el cual proporciona un completo control digital del sistema de ensayos.

Los dos principales componentes son el panel frontal (para la interacción con el operador) y la torre de consola.

Montaje de la muestra.

Una vez lograda la granulometría correspondiente a la denominación del ensaye, se procedió a obtener el peso volumétrico seco suelto y compacto (PVSS y PVSC) para compararlos con los que se obtengan después de realizar el ensaye de rotura de partículas. Después se coloca en el molde de prueba la placa inferior, la cual se apoya en tres varillas que evitan su caída, posteriormente, dentro del molde se coloca el material en estado suelto y se procede a enrasarlo manualmente para colocar la placa superior y la placa guía. Con la ayuda de una grúa se sujeta al molde con la muestra y se procede a colocarlo en el marco de carga. Para los ensayos con placa antifricciónante (teflón) el molde se engrasa en su pared interior y se cubre con placas de teflón la superficie del mismo. Hecho esto, se enciende la bomba hidráulica, el sistema electrónico y el actuador. Se definen los parámetros de prueba: frecuencia, carga, límites de posición y de carga, duración y se calibra la celda automáticamente. Posteriormente, se eleva el pistón a la posición adecuada y se inicia el ensaye.



Los ensayos de ambas series, con y sin teflón, comprenden tiempos de duración de 2, 4, 8, 16 y 24 horas. Terminado el proceso de ensaye en el marco de carga, se procede a desmontar el conjunto de molde y muestra, haciendo uso de la grúa. Se extrae el material del interior del molde y enseguida se obtiene su granulometría, para posteriormente comparar ésta con la granulometría inicial. La diferencia en las granulometrías es expresada en términos de rotura de granos, B, que es el resultado de la suma de las diferencias positivas entre los porcentajes retenidos de la muestra original y los de la muestra después de ser ensayada.

Definición del coeficiente de rotura de granos.

Coeficiente de rotura de granos "B".

Como medida de rotura de granos se toma la suma de las diferencias de un mismo signo, entre los porcentajes retenidos de la muestra original y los del espécimen después de ser ensayado. Según puede observarse en el ejemplo de la siguiente tabla, la suma de las diferencias positivas y la de las negativas son en valor absoluto iguales; por lo tanto, ambas representan al parámetro B. Se atribuye a B el signo positivo cuando ocurre fragmentación de partículas (rotura de granos) y el negativo para el caso poco común de aglutinarse los granos (Marshall, 1965).

Tabla no. 42.- Granulometrías a los materiales ensayados en la rotura de granos para determinar el coeficiente de rotura.

Malla No. 4	% Retenido inicial	% Retenido final	Diferencias (%)	% que pasa desp. Del ensaye
1"	5	4.74	0.25	95.2
¾"	37	37.616	-	57.6
½"	33	28.525	4.47	29.1
3/8"	17	16.535	0.96	12.6
No. 4	7	10.039	-	2
Pasa No. 4	0	2.53	-	-

rotura de granos b = 5.69 %

Gestión Ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.



Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.

Recursos.

Equipo y materiales.

- Balanzas capacidad 20kg aproximación 1g y de capacidad 2000 g y aproximación 0.01 g.
- Vaso de aluminio.
- Agitador de varilla metálica.
- Maquina mecánica agitadora para mallas.
- Cucharón.
- Charolas.
- Tapas y charolas de fondo para mallas.
- Cepillos o brochas.

4.2.2.2 Procedimiento para la extracción de núcleos en fragmentos de roca y ensayo de resistencia en compresión simple de las muestras extraídas.

Objetivo.

Describir el procedimiento para la extracción de muestras en fragmentos de roca para determinar su resistencia a la compresión simple. En los materiales 3B, T y 3C, utilizados para la conformación de la cortina del P.H La Yesca.

Alcance.

Aplica a los materiales extraídos en las calas volumétricas de agregados tipo 3B, T y 3C, así como a los materiales existentes en los almacenes.

Información técnica y/o referencias aplicables.

SCT. Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas. Norma ASTM C 42.

Definiciones.

- Prueba de Compresión simple: Capacidad que tiene el punto de conexión del componente reticular para ser sometido a una carga máxima media a fin de comprobar su resistencia a la compresión y tensión.



Responsabilidades.

- Es responsabilidad del Coordinador de Control de Calidad, la implantación de este procedimiento.
- Es responsabilidad del ingeniero de campo, verificar la correcta aplicación y utilización del contenido de este procedimiento, según el alcance establecido.
- Es responsabilidad de los Laboratoristas como elementos ejecutores, conocer el contenido de este procedimiento y aplicarlo correctamente, en las actividades que se desarrollan en el Laboratorio de Control de Calidad.

Antecedentes.

- Procedimiento para el muestreo de los materiales 3B, T y 3C.
- Procedimiento para calas volumétricas con determinación de peso volumétrico seco.
- Procedimiento para prueba de granulometría de materiales.

Proceso de extracción y ensayo.

Condiciones para la extracción.

Con la finalidad de evitar el deterioro de la muestra durante el proceso de extracción, preparación o ensayo, es necesario asegurar que la roca tenga una resistencia de, al menos, 10 MPa. Estas condiciones son importantes de respetar, puesto que cualquier daño que pueda afectar el resultado de la muestra será difícil de identificar una vez realizada la prueba.

La distancia entre muestras, y la de estos con los bordes, debe ser lo suficientemente holgada para evitar daño de la roca y/o de los mismos. Esta distancia debe ser, como mínimo, dos veces el diámetro de las muestras.

Para aquellas muestras extraídas en forma horizontal, ellos deben ubicarse en el tercio central del elemento bajo análisis y a una distancia superior a los 30 cm de bordes de la roca.

Las muestras extraídas en forma vertical deben estar separadas en más de 60 cm entre ellos, de los bordes y de las juntas de proyecto.

Ocasionalmente, por dificultades de extracción, no se considera lo anterior, siendo una situación común la extracción vertical en diversos elementos, donde el proceso es muy simple, pero debilita al elemento, pudiendo producir fisuras en el mismo testigo o en el que se extraerá a continuación. Un esquema de lo indicado



se presenta en la Figura N° 38. Para los casos como el señalado se debe considerar las actividades necesarias para permitir una extracción horizontal.

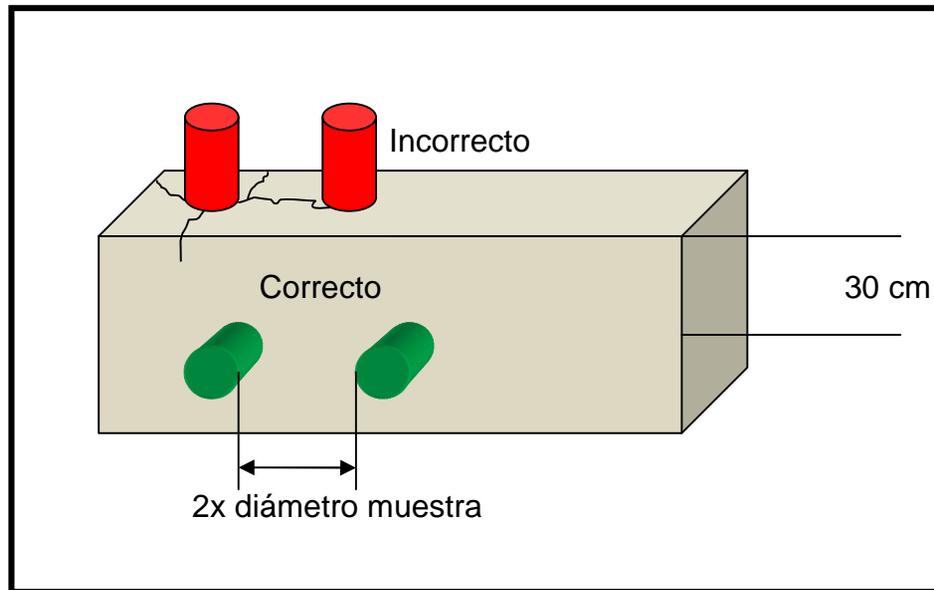


Fig. no. 38.- Esquema de la extracción correcta de muestras.

Extracción, transporte al laboratorio y preparación de muestras para pruebas.

Los procesos de extracción y transporte pueden producir daños, agrietamientos u otras alteraciones que impidan obtener un resultado fidedigno.

La norma establece la necesidad de la redacción de un informe en que conste, si existen o no, características visibles importantes del elemento del que se extrae la muestra (fisuras, porosidades, nidos de piedra), así como la ocurrencia o no de anomalías durante el proceso de extracción (cambios de posición, caídas de las muestras, si se traba el equipo de extracción y otros) y transporte.

El marcado e identificación de cada muestra debe efectuarse de manera indeleble en su cuerpo, de manera tal que se pueda identificar en cualquier momento.

Antes de iniciar la preparación de la muestra para su prueba, se ha de realizar una inspección visual para verificar la existencia de fisuras, grietas, nidos de piedra, inclusión de elementos ajenos a la roca u otros (se recomienda el uso de croquis y/o fotografías). Este tipo de anomalías puede desvirtuar totalmente los resultados que se obtengan.



Preparación para la prueba de resistencia.

Previo a cualquier prueba, a la muestra se le debe cortar los dos extremos con sierra disco de banco, eliminando la posibilidad de utilizar equipos manuales con discos abrasivos. Con ello se evita la incertidumbre de si la verificación de planeado es efectuada en forma correcta, sobretodo si la exigencia de resaltes es de 1 mm.

Es importante destacar que es recomendable ensayar las muestras, de una misma zona, con esbelteces lo más parecidas entre si, teniendo en cuenta que deben estar en el rango indicado por la norma (esbeltez entre 1 y 2). De esta forma se evita el aumento de la dispersión del lote por la propia dispersión que tienen siempre los factores de conversión, dado que éstos siempre son representativos sólo de promedios empíricos.

Determinación de la resistencia mecánica.

Ejecución de la prueba.

Se limpia cada muestra superficialmente, quitándole los granos de arena y las incrustaciones de las caras que estarán en contacto con las placas de la máquina. Es muy importante señalar que las caras de las muestras de estar perfectamente planas ya que no se permite el uso de materiales elásticos o de cabeceo para esta prueba.

La muestra se coloca en la placa inferior de la máquina de compresión, centrándolo respecto a la placa superior de la misma para evitar fracturas oblicuas ocasionadas por el movimiento lateral de una de las placas de la máquina al aplicar la carga.

En especímenes cuya carga máxima esperada sea inferior a 13,7 kN (1 400 kg), se ajusta la velocidad de aplicación de la carga, de manera que ésta se aplique ininterrumpidamente hasta la ruptura de la muestra, a una velocidad tal que la carga máxima se logre en un tiempo mayor de 20 s y menor de 80 s. No podrá hacerse ningún ajuste a los controles de la máquina de compresión cuando una muestra ceda con rapidez antes de la ruptura.

En especímenes cuya carga máxima esperada sea superior a 13,7 kN (1 400 kg), se aplica una carga inicial, a cualquier velocidad conveniente, hasta el 50% de la carga máxima esperada y posteriormente se ajusta la velocidad de aplicación de la carga remanente, de manera que ésta se aplique ininterrumpidamente hasta la ruptura del cilindro, tomando en cuenta las mismas consideraciones descritas en el Inciso anterior. Finalmente, se registra como



$P_{m\acute{a}x.}$, en N, la carga máxima indicada por la maquina.

Cálculos y resultados.

Se calcula y reporta como resultado de la prueba, la resistencia promedio a la compresión obtenida de un grupo de cilindros sin defectos, elaborados de la misma muestra; la resistencia de cada cilindro se determina utilizando la siguiente expresión:

$$R = \frac{10P_{max.}}{A}$$

En donde:

- R = Resistencia a la compresión, (MPa)
- $P_{m\acute{a}x.}$ = Carga máxima, (kN)
- A = Área de la sección transversal del cilindro, (cm²).

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.

Equipo y materiales.

Máquina para compresión.

Con capacidad para 150 kN (15 295,7 kg) y aproximación de 1kN, equipada con un sistema mecánico, hidráulico, o una combinación de ambos, con control de velocidad de aplicación de carga, sin producir impactos ni perdidas de carga, que cuente con una placa superior de carga hecha de un bloque de metal endurecido, con asiento esférico y firmemente sujeto al centro de la cabeza superior de la máquina; una placa metálica circular marcadas con dos líneas diametrales perpendiculares entre si sobre su superficie, con una dureza Rockwell mayor de C-55, colocada sobre la platina inferior con el fin de disminuir el desgaste de ésta.



Además, la máquina cumplirá con los siguientes requisitos:

La placa superior será capaz de mantenerse firmemente en contacto con el asiento esférico, pero en condiciones de moverse libremente en cualquier dirección, considerando que el centro de la esfera coincidirá con el centro de la superficie del bloque que esté en contacto con el espécimen.

La separación entre la placa de apoyo superior y la inferior debe permitir la colocación con comodidad de los especímenes por probar y tendrá capacidad para dar cabida a los dispositivos de verificación de la máquina.

Las superficies de las placas de apoyo serán perfectamente planas, admitiéndose una tolerancia de $\pm 0,025$ mm, mientras que la diagonal o el diámetro de la placa de carga será ligeramente mayor que la diagonal de la cara del cubo bajo prueba y estará marcada de tal manera que permita centrar éstos con exactitud, aceptándose diámetros comprendidos entre 71 y 74 mm.

La máquina para compresión, junto con sus aditamentos, contará con certificados de calibración vigente expedida por un laboratorio de calibración debidamente acreditado.



Fig. no. 39.- Trepanadora eléctrica para extracción de núcleos.

Nota: En el caso de las pruebas índices ya vimos que se incluyen tres pruebas, las pruebas de referencia son:



- a) Absorción de agua.
- b) Desgaste o abrasión de Los Ángeles.
- c) Intemperismo acelerado.

En el caso de la prueba de absorción se podrá utilizar el siguiente procedimiento:

- 2.4.7 Procedimiento para obtención de gravedad específica, absorción y peso unitario de agregado grueso.

En el caso de las dos pruebas faltantes a continuación se describe su procedimiento.

4.2.2.3 Procedimiento para la determinación de la abrasión de materiales.

Objetivo.

El objetivo de la prueba es determinar la resistencia a la trituración de los materiales empleados en la conformación de la cortina del P.H. La Yesca.

Alcance.

Este apartado describe el procedimiento de prueba para determinar mediante la máquina de Los Ángeles, la resistencia a la trituración de los materiales 3B, T y 3C para cortina.

Información técnica y/o referencias aplicables.

- SCT. Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas. Definiciones.
- Prueba de abrasión: Ensayo que se emplea para determinar el comportamiento de cualquier material frente al desgaste que producirá un agente externo.

Responsabilidades.

- Es responsabilidad del Coordinador de Control de Calidad, la implantación de este procedimiento.
- Es responsabilidad del ingeniero de campo, verificar la correcta aplicación y utilización del contenido de este procedimiento, según el alcance establecido.



- Es responsabilidad de los Laboratoristas como elementos ejecutores, conocer el contenido de este procedimiento y aplicarlo correctamente, en las actividades que se desarrollan en el Laboratorio de Control de Calidad.

Antecedentes.

Índice de solidez de los granos.

Las propiedades físicas de las partículas o fragmentos de roca varían notablemente no sólo en las gravas y arenas que contienen los granos más competentes arrastrados por el agua dentro de cuencas con geología diversa, sino también en los enrocamientos explotados de una misma fuente, por causa del intemperismo y los defectos naturales (diaclasas, inyecciones hidrotermales, cavidades, etc.) y los inducidos por el explosivo y el manejo de la roca durante su extracción, transporte y colocación.

Además de aplicar los siguientes procedimientos antes de realizar la prueba:

- Procedimiento para el muestreo de los materiales 3B, T y 3C.
- Procedimiento para prueba de granulometría de materiales.

Descripción del procedimiento.

Preparación de la muestra.

De la muestra del material envasado que se recibe en laboratorio, se disgrega de forma manual el material que presente grumos, teniendo la precaución de no fragmentarlo por la presión aplicada. Hecho lo anterior, se cuartea el material hasta obtener una muestra de aproximadamente 40 kg, como se describe a continuación:

- Una vez que el material está disgregado, se apila hasta formar un cono.
- Desde el eje del cono y hacia la periferia se extiende el material hasta formar un cono truncado de 15 a 20 cm de altura.
- Se divide el cono truncado en cuatro partes iguales, de las cuales se toman dos cuartos opuestos para formar una muestra de aproximadamente 40 kg; en caso de exceder esta masa, se procede a reducir la cantidad de material mediante cuarteos sucesivos.
- La muestra resultante se lava mediante un chorro de agua para eliminar el polvo adherido y posteriormente se seca en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante.



Procedimiento de la prueba.

Una vez separado y clasificado el material de la muestra, de la Tabla No. 43 se elige el tipo de composición que se utilizará para integrar la muestra de prueba, que mejor se asemeje a las características granulométricas obtenidas anteriormente

Se integra la muestra de prueba con las proporciones correspondientes a cada rango de tamaños, de acuerdo con las cantidades indicadas en la Tabla No. 43 de este procedimiento.

Se obtiene la masa de la muestra de prueba integrada, registrándola como P_i , con aproximación de 1 g y se introduce a la máquina de Los Ángeles.

Tabla no. 43.- Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas.

Tipo de composición de la muestra de la prueba	Rango de tamaños.		Masa de la fricción en g.	Carga abrasiva	
	mm	Designación		No. De esferas	Masa total en g.
A	37.5-25	1 ½"-1"	1250 +/- 25	12	5000 +/- 25
	25-19	1"-¾"	1250 +/- 25		
	19-12.5	¾"-1/2"	1250 +/- 10		
	12.5-9.5	½"-3/8"	1250 +/- 10		
	Masa total de la muestra		5000 +/- 10		
B	19-12.5	¾"-1/2"	2500 +/- 10	11	4584 +/- 25
	12.5-9.5	½"-3/8"	2500 +/- 10		
	Masa total de la muestra		5000 +/- 10		
C	9.5-6.3	3/8"-1/4"	2500 +/- 10	8	3330 +/- 20
	6.3-4.75	¼"-No. 4	2500 +/- 10		
	Masa total de la muestra		5000 +/- 10		
D	4.75-2	4-10	5000 +/- 10	6	2500 +/- 15

S.C.T.

De acuerdo con lo indicado en la Tabla No. 43 de este procedimiento, se define la cantidad de esferas requeridas y se verifica que su masa total cumpla con lo establecido en dicha Tabla. Hecho lo anterior, se introducen las esferas a la máquina de Los Ángeles y se hace funcionar a una velocidad angular de 30 a 33 rpm, durante 500 revoluciones.

Se retira el material del interior de la máquina depositándolo en una charola. Se desecha la fracción de la muestra de prueba que pase la malla N°12 (1,7 mm de abertura), para lo que se puede hacer pasar el material por todas las mallas indicadas en la Tabla No. 44 de este procedimiento. Una vez desechado el material menor de 1,7 mm, se lava la muestra de prueba con un chorro de agua y se seca en el horno a una temperatura de 110 +/- 5°C hasta masa constante.

Finalmente se deja enfriar la muestra de prueba a temperatura ambiente, para determinar su masa con aproximación de 0,1 g, registrándola como P_f .



Cálculos y resultados.

Se calcula y reporta como resultado de la prueba, el desgaste por trituración, utilizando la siguiente expresión:

$$Pa = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Donde:

- P_a = Desgaste por trituración Los Ángeles, (%)
- P_i = Masa inicial de la muestra de prueba, (g)
- P_f = Masa final del material de la muestra de prueba mayor de 1,7 mm (malla N°12), (g)

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.

El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.

Equipo y materiales.

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

Máquina de los ángeles.

Como la mostrada en la Figura No. 40 de esta Tesis, constituida por un cilindro de acero, hueco y cerrado en ambos extremos, con diámetro interior de 710 +/- 5 mm y largo de 510 +/- 5 mm, montado sobre dos soportes ubicados al centro de sus caras paralelas, que le permitan girar sobre su eje de simetría en posición horizontal con una velocidad angular de 30 a 33 rpm. El cilindro tendrá una abertura que permita introducir la muestra de prueba y las esferas metálicas, con una tapa de cierre hermético diseñada con la misma curvatura del cilindro para



que la superficie interior del mismo sea continua y uniforme; además tendrá en su parte interior una placa de acero removible de 2,5 cm (1") de espesor, que se proyecte radialmente 8,9 cm (3½") en toda la longitud del cilindro y contará con un dispositivo para registrar el número de revoluciones que dé el cilindro.

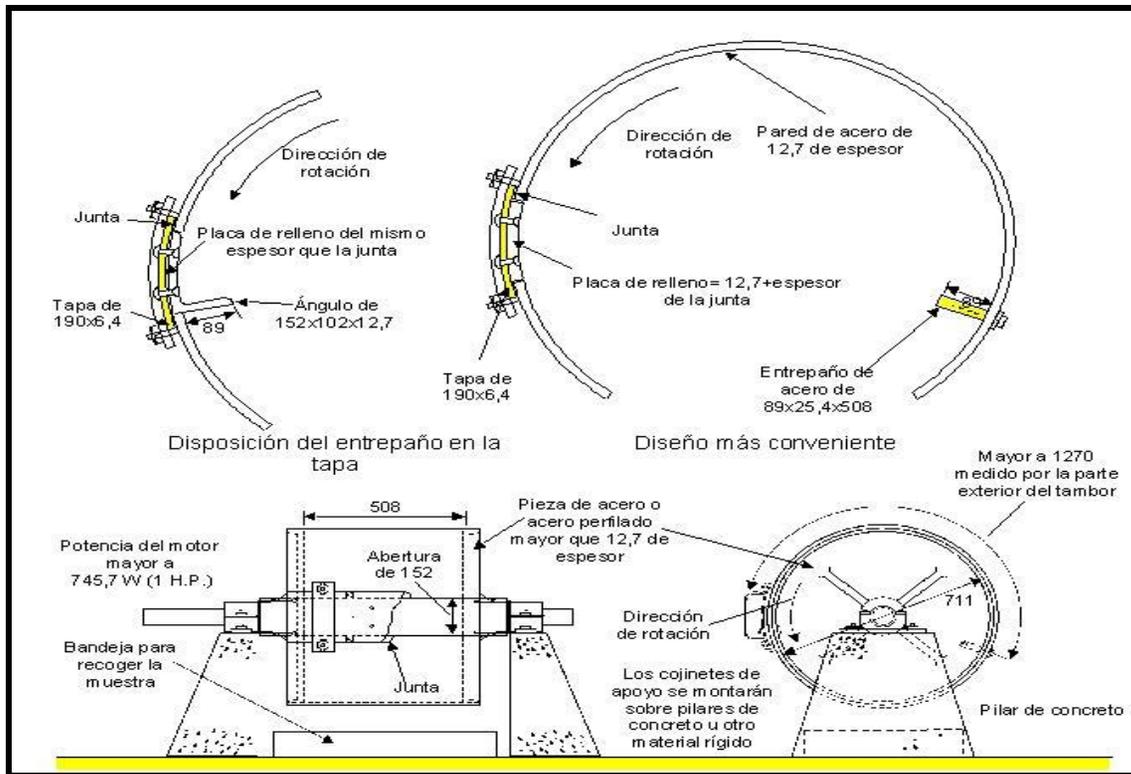


Fig. no. 40.- Características principales de la maquina de Los Ángeles.

Carga abrasiva.

Esferas de hierro fundido o acero, con un diámetro promedio de 47 mm y una masa de entre 390 y 445 g cada una.

Juego de mallas (cribas).

Fabricadas con alambre de bronce o de acero inoxidable de diversos calibres, tejidos en forma de cuadrícula, con abertura determinada conforme a lo indicado en la Tabla No. 44. El tejido estará sostenido mediante un bastidor circular metálico, de lámina de bronce o latón, de 206 +/- 2 mm de diámetro interior y 68 +/- 2 mm de altura, sujetando la malla rígida y firmemente mediante un sistema de engargolado de metales, a una distancia de 50 mm del borde superior del bastidor.



Horno.

Eléctrico o de gas, con capacidad mínima de 20 dm³, ventilado, con termostato capaz de mantener una temperatura constante de 110 +/- 5°C.

Tabla no. 44.- Juego de mallas.

Designación	Abertura en mm
2"	50
1 ½"	37.5
1"	25
¾"	19
½"	12.5
3/8"	9.5
¼"	6.3
No. 4	4.75
No. 10	2
No. 12	1.7

S.C.T.

- Balanza.
- Máquina agitadora para las mallas.
- Cucharón.
- Charolas.
- Agua.

4.2.2.4 Procedimiento de prueba para determinar la resistencia al intemperismo acelerado de los materiales.

Objetivo.

El objetivo de la prueba es determinar la degradación esperada por intemperismo de los materiales empleados en la construcción de la cortina del P.H. La Yesca.

Alcance.

La prueba consiste en someter a varios ciclos de saturación y secado los diferentes tamaños de la fracción de agregados gruesos (gravas) de una muestra de materiales (3B, T y 3C), mediante el empleo de una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio, y medir la diferencia de su masa antes y después de haber sido sometido a este tratamiento.



Información técnica y/o referencias aplicables.

SCT. Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas.
Norma ASTM C 42

Definiciones.

- Intemperismo acelerado: Se le denomina así al proceso de la transformación química acelerada de los materiales reproduciendo fenómenos naturales en cámaras de prueba llamadas “Cámaras de intemperismo acelerado” bajo condiciones estrictas de laboratorio, con éstas pruebas se obtienen información y resultados confiables y en un corto plazo posibilitando así el calculo de tiempo que resiste un material expuesto a éstas condiciones contra el tiempo real al que se enfrenta en condiciones de uso diario.
- Sal Epsom: El sulfato de magnesio o sulfato magnésico, de nombre común sal de Epsom, es un compuesto químico que contiene magnesio, y cuya fórmula es $Mg SO_4 \cdot 7H_2O$

Responsabilidades.

- Es responsabilidad del Coordinador de Control de Calidad, la implantación de este procedimiento.
- Es responsabilidad del ingeniero de campo, verificar la correcta aplicación y utilización del contenido de este procedimiento, según el alcance establecido.
- Es responsabilidad de los Laboratoristas como elementos ejecutores, conocer el contenido de este procedimiento y aplicarlo correctamente, en las actividades que se desarrollan en el Laboratorio de Control de Calidad.

Antecedentes.

- Procedimiento para el muestreo de los materiales 3B, T y 3C.
- Procedimiento para calas volumétricas con determinación de peso volumétrico seco.
- Procedimiento para prueba de granulometría de materiales.

Para efectuar esta prueba se requieren los siguientes reactivos químicos:

Solución de sulfato de sodio.

- Anhidro (Na_2SO_4)
- Con agua de cristalización ($Na_2SO_4 \cdot 10 H_2O$)

Solución de sulfato de magnesio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$) (Sal de Epsom).



Descripción del procedimiento.

Preparación de la muestra.

De la muestra del material recibida en el laboratorio se toma una porción de 40 kg por cuarteos sucesivos; esta porción debe tratarse y separarse previamente en, agregados finos y arena, y agregados gruesos (grava, fragmentos de roca), de acuerdo con el procedimiento siguiente:

Si el material está saturado, dejarse escurrir hasta contenido de agua constante o hasta la condición de saturado y superficialmente seco.

Cribar el material de la muestra utilizando la malla N° 4 (4,75 mm) ya sea con equipo mecánico o de forma manual, colocando el material que pasa en una charola de lámina y el retenido en la otra, hasta concluir su separación, considerando el arreglo de mallas indicado en la Tabla No.47 de este procedimiento, determinar la granulometría del material, eliminando el que pasa la malla N° 4.

Posteriormente separar las mallas y lavar los materiales de cada tamaño, mediante chorro de agua, con el fin de eliminar el polvo y las partículas adheridas.

Finalmente, cada tamaño de la muestra colocarlo en una charola de lámina y secarlo en el horno a una temperatura de 110 +/- 5 °C, hasta masa constante.

Con el material separado y clasificado, y de acuerdo con las cantidades indicadas en la Tabla No. 45, integrar las muestras de prueba Mi, correspondientes a cada tamaño t, ya que el material clasificado será ensayado individualmente. Para obtener la masa de cada una de las muestras, aplicar cuarteos sucesivos sin incluir o excluir tamaños.

Tabla no. 45.- Tamaño de la muestra

Tamaño del material (f)		Masa de la muestra en g
De: (pasa la malla)	A: (retenida en la malla)	
2" (50 mm)	1 ½" (37.5 mm)	1500
1 ½" (37.5 mm)	1" (25 mm)	1500
1" (25 mm)	¾" (19 mm)	1000
¾" (19 mm)	½" (12.5 mm)	500
½" (12.5 mm)	No. 4 (4.76 mm)	300

S.C.T.

Si en la muestra original el material retenido en las mallas ¾" (19 mm) y ½" (12,5 mm) es menor del 5% del total de la fracción gruesa (material mayor a la



mallá N° 4), no aplicar la prueba a dicho material, considerando que la pérdida por intemperismo de esta fracción será el promedio de los valores obtenidos en el tamaño inmediato anterior y posterior. Igual tratamiento darlo al material que se retiene en las mallas 1 ½" (37,5 mm) y 1" (25 mm) cuando éste sea inferior al 5%.

Preparación de la solución para la prueba.

Con alguno de los reactivos (sales) que se mencionaron anteriormente de este procedimiento, preparar dentro del recipiente cilíndrico de peltre la solución de prueba, para lo cual se diluye en agua de tal forma que la concentración llegue a la saturación y además presente un excedente de cristales. Dependiendo del reactivo empleado, las cantidades a utilizar serán las mostradas en la Tabla No.46 de este procedimiento.

Tabla no. 46.- Cantidad de reactivo empleado para preparar la solución de prueba.

Reactivo		Cantidad g/L
Solución de sulfato de sodio	de anhidro (Na_2SO_4)	350
	con agua de cristalización ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$)	750
Solución de sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (sal Epsom)		1400

S.C.T.

Preparar la solución a una temperatura de 25°C y mantenerla a una temperatura de 21°C por lo menos durante 48 h antes de emplearla; esto se logra manteniendo la solución en el tanque de recirculación de agua, el cual se gradúa a la temperatura deseada. Agitar la solución con el agitador de varilla antes de usarla.

Procedimiento de prueba.

Colocar cada muestra en una charola de peltre que contenga la solución de prueba, de manera que queden totalmente cubiertas. Mantener esta condición por un periodo de 16 a 18 h a una temperatura de 21°C, conservando dicha temperatura mediante el empleo del tanque de recirculación de agua.

Finalizado este periodo, escurrir las muestras y secarlas en el horno a una temperatura de 110 +/- 5°C, hasta masa constante. Repetir este proceso de inmersión y secado hasta completar cinco ciclos.

Al terminar el último ciclo, lavar las muestras hasta eliminar todo el sulfato de sodio o de magnesio y secar nuevamente en el horno a una temperatura de 110 +/- 5°C, hasta masa constante.



Una vez enfriadas a temperatura ambiente, cribar cada muestra con la malla de menor tamaño del intervalo considerado, es decir para el intervalo de tamaños de 50 mm (2") a 37,5 mm (1 ½") emplear la malla 1 ½" (37,5 mm) y así sucesivamente, según los intervalos citados en la Tabla No. 45, registrando como M_f la masa del material retenido en dichas mallas y desechando el material que pasa.

Cálculos y resultados.

Se reporta como resultado de la prueba, en por ciento y con aproximación a un décimo, la pérdida por intemperismo, determinada de acuerdo al siguiente procedimiento:

La pérdida por intemperismo de cada tamaño ensayado, se calcula utilizando la siguiente expresión:

$$P_{(t)} = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Donde:

- $P(t)$ = Pérdida por intemperismo para el tamaño t , (%).
- M_i = Masa inicial de la muestra de prueba para cada tamaño, que se obtiene de la Tabla No. 45, (g).
- M_f = Masa del material al finalizar los ciclos de intemperismo para cada tamaño, (g).
- t = Variable que denota el rango del tamaño de las partículas de la muestra, de acuerdo con lo citado en la Tabla No. 45, (a dimensional).

La pérdida por intemperismo representativa de todo el material, se calcula utilizando la expresión:

$$P_{INT} = \left(\frac{\sum (P_{(t)} \times M_i)}{\sum M_i} \right) \times 100$$

Donde:

- P_{INT} = Pérdida por intemperismo representativa de todo el material, (%).
- $P(t)$, M_i y t tienen el significado indicado en la ecuación anterior.

Gestión ambiental.

Para la realización de las actividades de este procedimiento se seguirán los lineamientos indicados en el plan de Protección Ambiental del Proyecto.



El jefe de laboratorio debe conocerlo y es responsabilidad del titular del área y del responsable de Medio Ambiente que así sea.

Seguridad.

Todo el procedimiento se realizará acabo de acuerdo al Reglamento de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente del proyecto.

Equipo y materiales.

- Juego de mallas (cribas).

Tabla no. 47.- Juego de mallas.

Malla	Abertura mm
2"	50
1 1/2"	37.5
1"	25
3/4"	19
1/2"	12.5
3/8"	9.5
1/4"	6.3
No. 4	4.75

S.C.T.

- Horno.
- Balanza.
- Charolas de peltre.
- Agitador de varilla metálica.
- Cucharón de acero galvanizado.
- Charolas de lámina galvanizada.
- Termómetro.
- Recipiente cilíndrico de peltre de 10 dm³.
- Tanque con recirculación de agua de acero inoxidable con control de termostato, capaz de mantener una temperatura constante de hasta 30°C, con dimensiones aproximadas de 500 x 500 x 110 mm.



CONCLUSIONES

1. Los materiales para la construcción de la cortina, provienen de dos fuentes principales: de las excavaciones en túneles y vertedor, así como de los playones del Río Santiago.
2. Dependiendo de la zona donde se extrae el material (excavaciones o de los playones del Río Santiago) se tiene un procedimiento específico para cada uno de ellos.
3. Los procedimientos específicos para cada tipo de material abarcan desde las condiciones previas a realizar hasta la extracción, la transportación y almacenamiento de los materiales.
4. La cortina estará conformada de cuatro zonas principales, zona impermeable, zona de transición, zona de enrocamiento de protección y la zona de filtros, en cada una de las zonas se requiere que cumplan una granulometría específica no importando la procedencia del material.
5. Para cumplir con granulometría requerida para cada zona se le da un procesamiento adecuado del material extraído de las excavaciones o del lecho del Río Santiago en las plantas de trituración.
6. En el caso de los materiales que serán destinados a la zona de filtros, estarán constituidos por una granulometría que requiere de materiales finos, por lo cual su procesamiento se realizara en el estabilizador de materiales, maquina que esta destinada para tal fin.
7. Los materiales que serán destinados a la zona impermeable, zona de transición y zona de enrocamiento, por su tamaño requerido en la granulometría su procesamiento se realizara en el primario No. 2 el cual esta destinado para tal fin por la facilidad que tiene para el manejo que de materiales de gran tamaño.
8. La calidad de los materiales será verificada antes de enviarlos a su colocación en la cortina mediante las pruebas de granulometría, verificando que cumplan con los parámetros establecidos para la zona donde serán



colocados. En el caso del material 2 se realizarán pruebas para obtener la densidad de sólidos.

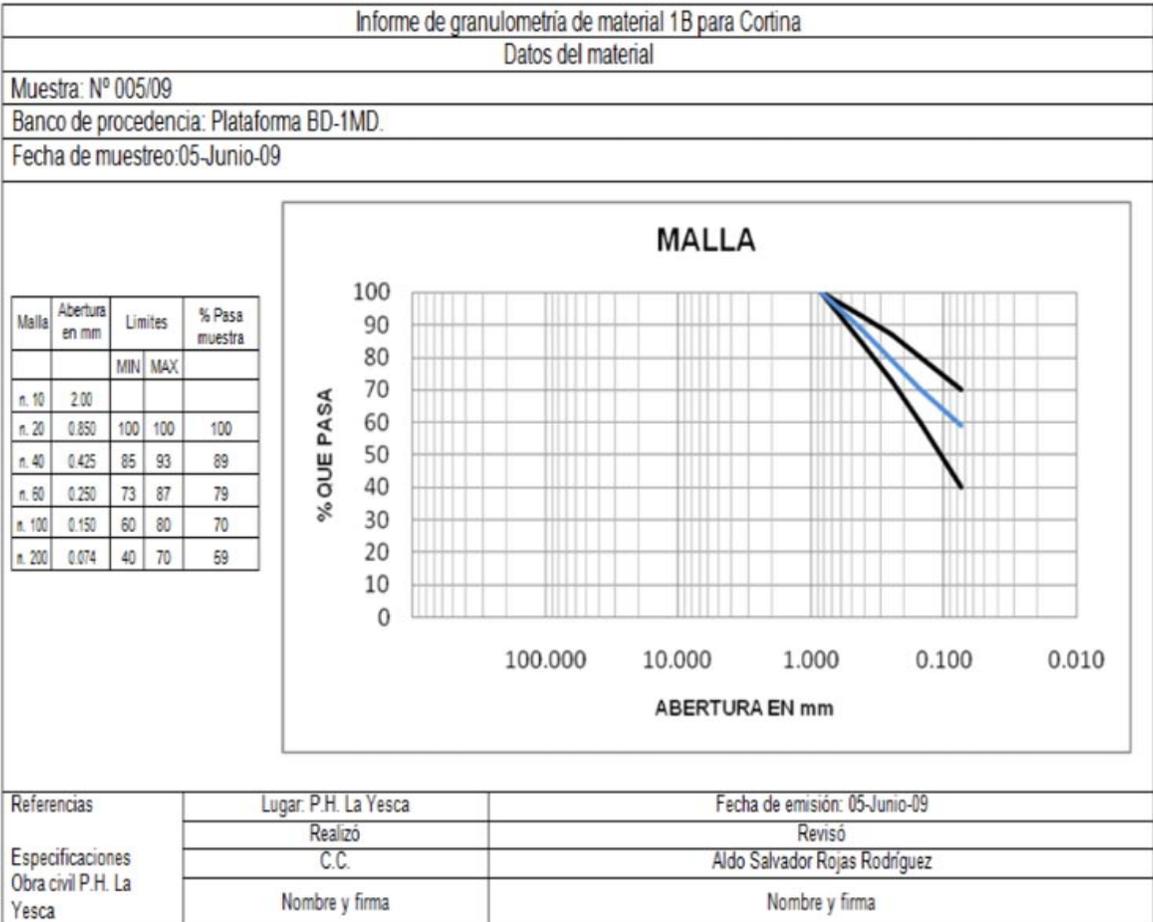
9. Se verificara la zona elegida para el desplante de la cortina para constatar que no exista contaminación, que se hayan realizado los trabajos previos como la limpieza del cauce, construcción de la ataguía, y colocación de la cimentación que requiera cada uno de los materiales de acuerdo a la zona donde serán colocados.
10. La colocación de los materiales se realizara de acuerdo a un plan donde se incluye el control de los volúmenes de material obtenido y procesado incluyendo las fechas de obtención de los materiales, además de la manera en que serán transportados a la cortina; todo el proceso para la colocación de los materiales se dividirá en seis etapas de construcción, todo esto para llevar un avance controlado junto con la obras complementarias.
11. Todos los trabajos para la colocación de los materiales están regidos por un procedimiento el cual establece los sistemas de humectación, de compactación (indicando el grosor de cada capa a colocar) y recursos necesarios para realizar los trabajos.
12. Todos estos trabajos serán complementados con la construcción de elementos de apoyo a la cortina, como es el caso del bordo extrudido, colocación de la cara de concreto impermeable y la construcción del parapeto.
13. Es importante tener un control de calidad durante la colocación de los materiales en la cortina y esto se realizara por medio de pruebas en campo de compactación ayudándonos para este fin la prueba de calas volumétricas que realizaremos en los materiales mas importantes a cuidar durante la colocación y compactación en la cortina que es el caso de los materiales: 3B, T, 3C, 2, 2F y 1B.
14. La prueba de calas volumétricas con determinación de peso volumétrico seco, será el factor que determine la aceptación o no de una capa colocada ya que si esta no cumple con lo determinado en las especificaciones será retirada o nuevamente compactada según los resultados obtenidos en la prueba.
15. La determinación de la permeabilidad se realizará tanto en campo como en laboratorio en el caso de los materiales 2, 3B y T, todo esto con el fin de tener conocimiento del coeficiente de permeabilidad alcanzado durante el proceso de colocación y compactación y en base a los resultados obtenidos lograr un mayor control en la compactación.



16. Las pruebas de control de calidad también se realizan en laboratorio todo esto con el fin de conocer mejor el material que se está colocando en la cortina, aplicando pruebas índices a los materiales extraídos en las pruebas de permeabilidad y de calas volumétricas, todo esto de acuerdo a los procedimientos establecidos.
17. En el caso de los materiales 3B, T y 3C al tener una composición granulométrica compuesta principalmente de rocas y gravas se realizarán pruebas adicionales, donde se incluyen pruebas mecánicas para determinar la rotura de granos y la resistencia en compresión simple en núcleos extraídos de rocas; también se realizarán pruebas de índice de solidez que integran tres pruebas con las cuales determinamos absorción, la abrasión y el intemperismo acelerado, estas pruebas se realizan con el fin de conocer el comportamiento de estos materiales en el tiempo reproduciendo fenómenos naturales de manera controlada dentro de un laboratorio.



ANEXO A

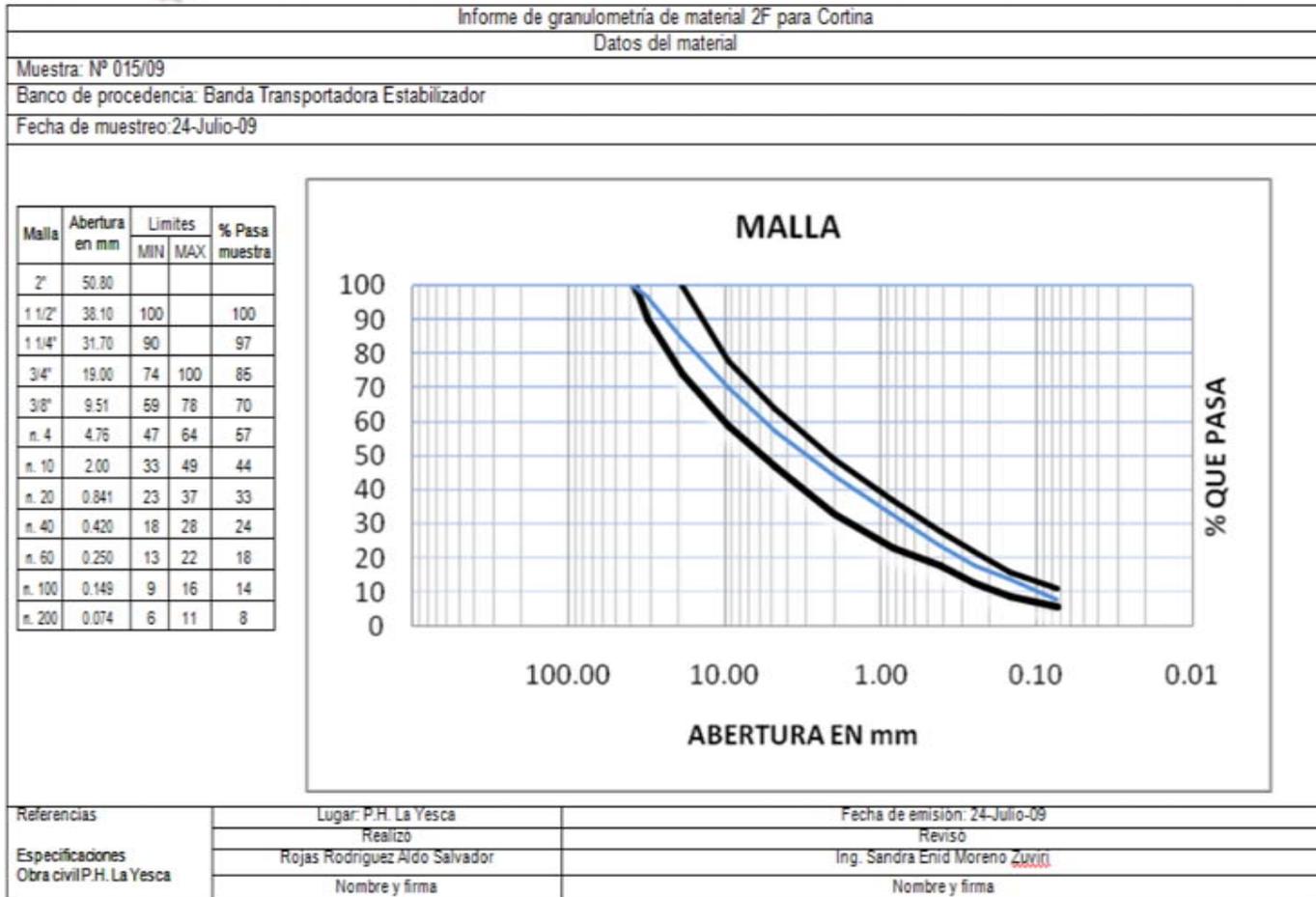




Informe de granulometría de material 1S para Cortina																																									
Datos del material																																									
Muestra: N° 002/09																																									
Banco de procedencia: Plataforma BD-1MD																																									
Fecha de muestreo: 12-Julio-09																																									
MALLA																																									
<table border="1"><thead><tr><th rowspan="2">Malla</th><th rowspan="2">Abertura en mm</th><th colspan="2">Límites</th><th rowspan="2">% Pasa muestra</th></tr><tr><th>MIN</th><th>MAX</th></tr></thead><tbody><tr><td>n. 10</td><td>2.00</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>n. 20</td><td>0.850</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td></tr><tr><td>n. 40</td><td>0.425</td><td>93</td><td>100</td><td>95</td></tr><tr><td>n. 60</td><td>0.250</td><td>85</td><td>100</td><td>90</td></tr><tr><td>n. 100</td><td>0.150</td><td>78</td><td>100</td><td>85</td></tr><tr><td>n. 200</td><td>0.074</td><td>70</td><td>97</td><td>79</td></tr></tbody></table>	Malla	Abertura en mm	Límites		% Pasa muestra	MIN	MAX	n. 10	2.00				n. 20	0.850	100	100	100	n. 40	0.425	93	100	95	n. 60	0.250	85	100	90	n. 100	0.150	78	100	85	n. 200	0.074	70	97	79				
Malla			Abertura en mm	Límites		% Pasa muestra																																			
	MIN	MAX																																							
n. 10	2.00																																								
n. 20	0.850	100	100	100																																					
n. 40	0.425	93	100	95																																					
n. 60	0.250	85	100	90																																					
n. 100	0.150	78	100	85																																					
n. 200	0.074	70	97	79																																					
Referencias Especificaciones Obra civil P.H. La Yesca	Lugar: P.H. La Yesca	Fecha de emisión: 12-Julio09																																							
	Realizó	Revisó																																							
	C.C.	Aldo Salvador Rojas Rodríguez																																							
	Nombre y firma	Nombre y firma																																							



Informe de granulometría de material 2 para Cortina																																																																												
Datos del material																																																																												
Muestra: N° 639/09																																																																												
Banco de procedencia: Banda Transportadora Estabilizador																																																																												
Fecha de muestreo: 24-Abril-09																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Malla</th> <th rowspan="2">Abertura en mm</th> <th colspan="2">Límites</th> <th rowspan="2">% Pasa muestra</th> </tr> <tr> <th>Min.</th> <th>Max.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2"</td><td>50</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>37.5</td><td>82</td><td>100</td><td>98</td></tr> <tr><td>1 1/4"</td><td>31.7</td><td>75</td><td>100</td><td>92</td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.4</td><td>67</td><td>100</td><td>81</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19</td><td>59</td><td>89</td><td>65</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.5</td><td>47</td><td>73</td><td>49</td></tr> <tr><td>4</td><td>4.75</td><td>35</td><td>61</td><td>37</td></tr> <tr><td>10</td><td>2</td><td>26</td><td>46</td><td>27</td></tr> <tr><td>20</td><td>0.85</td><td>18</td><td>33</td><td>20</td></tr> <tr><td>40</td><td>0.425</td><td>12</td><td>25</td><td>14</td></tr> <tr><td>60</td><td>0.250</td><td>9</td><td>19</td><td>11</td></tr> <tr><td>100</td><td>0.150</td><td>7</td><td>14</td><td>8</td></tr> <tr><td>200</td><td>0.074</td><td>5</td><td>9</td><td>5.9</td></tr> </tbody> </table>	Malla	Abertura en mm	Límites		% Pasa muestra	Min.	Max.	2"	50	100	100	100	1 1/2"	37.5	82	100	98	1 1/4"	31.7	75	100	92	1"	25.4	67	100	81	3/4"	19	59	89	65	3/8"	9.5	47	73	49	4	4.75	35	61	37	10	2	26	46	27	20	0.85	18	33	20	40	0.425	12	25	14	60	0.250	9	19	11	100	0.150	7	14	8	200	0.074	5	9	5.9	<div style="text-align: center;"> <h3>MALLA</h3> </div>			
Malla			Abertura en mm	Límites		% Pasa muestra																																																																						
	Min.	Max.																																																																										
2"	50	100	100	100																																																																								
1 1/2"	37.5	82	100	98																																																																								
1 1/4"	31.7	75	100	92																																																																								
1"	25.4	67	100	81																																																																								
3/4"	19	59	89	65																																																																								
3/8"	9.5	47	73	49																																																																								
4	4.75	35	61	37																																																																								
10	2	26	46	27																																																																								
20	0.85	18	33	20																																																																								
40	0.425	12	25	14																																																																								
60	0.250	9	19	11																																																																								
100	0.150	7	14	8																																																																								
200	0.074	5	9	5.9																																																																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;">Referencias</td> <td style="width: 25%;">Lugar: P.H. La Yesca</td> <td style="width: 25%;">Fecha de emisión: 24-Abril-09</td> <td style="width: 25%;"></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Especificaciones Obra civil P.H. La Yesca</td> <td>Realizo</td> <td>Reviso</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rojas Rodríguez Aldo Salvador</td> <td>Ing. Sandra Enid Moreno Zúñiga</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Nombre y firma</td> <td style="text-align: center;">Nombre y firma</td> <td></td> </tr> </table>	Referencias	Lugar: P.H. La Yesca	Fecha de emisión: 24-Abril-09		Especificaciones Obra civil P.H. La Yesca	Realizo	Reviso		Rojas Rodríguez Aldo Salvador	Ing. Sandra Enid Moreno Zúñiga		Nombre y firma	Nombre y firma																																																															
Referencias	Lugar: P.H. La Yesca	Fecha de emisión: 24-Abril-09																																																																										
Especificaciones Obra civil P.H. La Yesca	Realizo	Reviso																																																																										
	Rojas Rodríguez Aldo Salvador	Ing. Sandra Enid Moreno Zúñiga																																																																										
	Nombre y firma	Nombre y firma																																																																										





Informe de granulometría de material 3B para Cortina

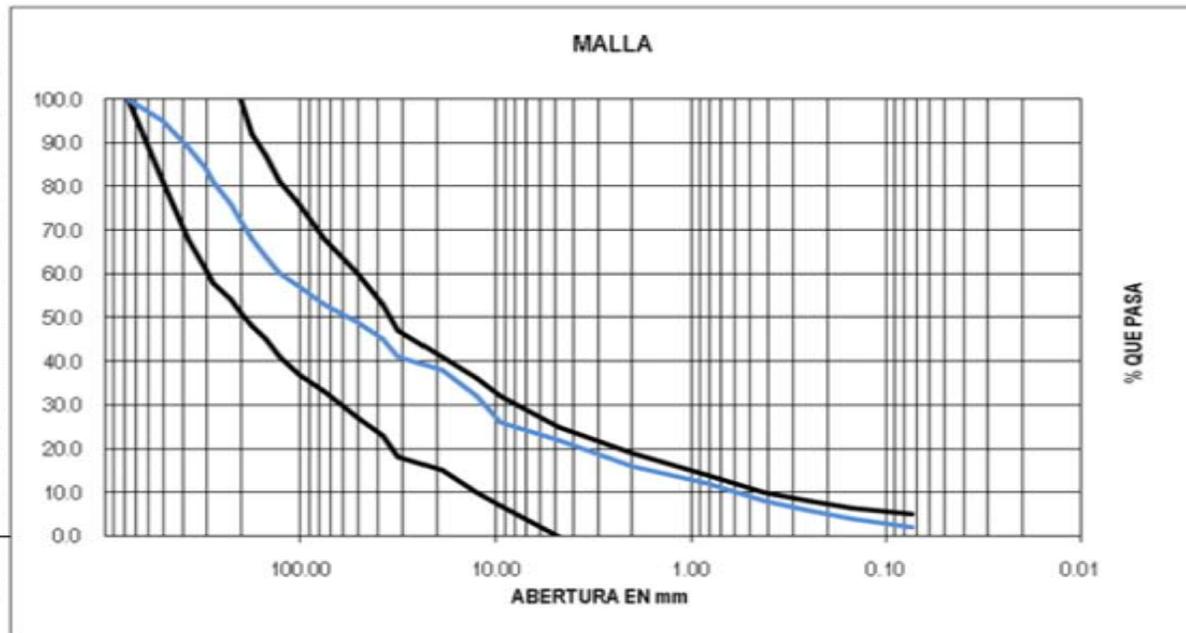
Datos del material

Muestra: N° 013/09

Banco de procedencia: BD-1MD

Fecha de muestreo: 25-Marzo-09

Malla	Abertura en mm	Límites		% Pasa muestra
		inf.	sup.	
30"	762.00	100.0		100
20"	508.00	81.0		95
15"	381.00	68.0		89
12"	305.00	61.0		84
11"	280.00	58.0		81
9"	229.00	54.0		76
8"	203.00	51.0	100.0	72
7"	178.00	48.0	92.0	68
6"	152.00	45.0	87.0	64
5"	127.00	41.0	81.0	60
4"	101.00	37.0	76.0	57
3"	76.20	33.0	68.0	53
2"	50.80	27.0	60.0	49
1 1/2"	38.10	23.0	53.0	45
1 1/4"	31.70	18.0	47.0	41
3/4"	19.00	15.0	41.0	38
1/2"	12.70	10.0	36.0	32
3/8"	9.50	7.0	32.0	28
n. 4	4.75	0.0	25.0	22
n. 10	2.00		19.0	16
n. 20	0.841		14.0	12
n. 40	0.420		10.0	8
n. 60	0.250		8.0	6
n. 100	0.149		6.5	4
n. 200	0.074		5.0	2



Referencias	Lugar: P.H. La Yesca	Fecha de emisión: 25-Marzo-09
	Realizo	Reviso
Especificaciones	Rojas Rodríguez Aldo Salvador	Ing. Sandra Enid Moreno Zúñiga
Obra civil P.H. La Yesca	Nombre y firma	Nombre y firma



Informe de granulometría de material 3C para Cortina

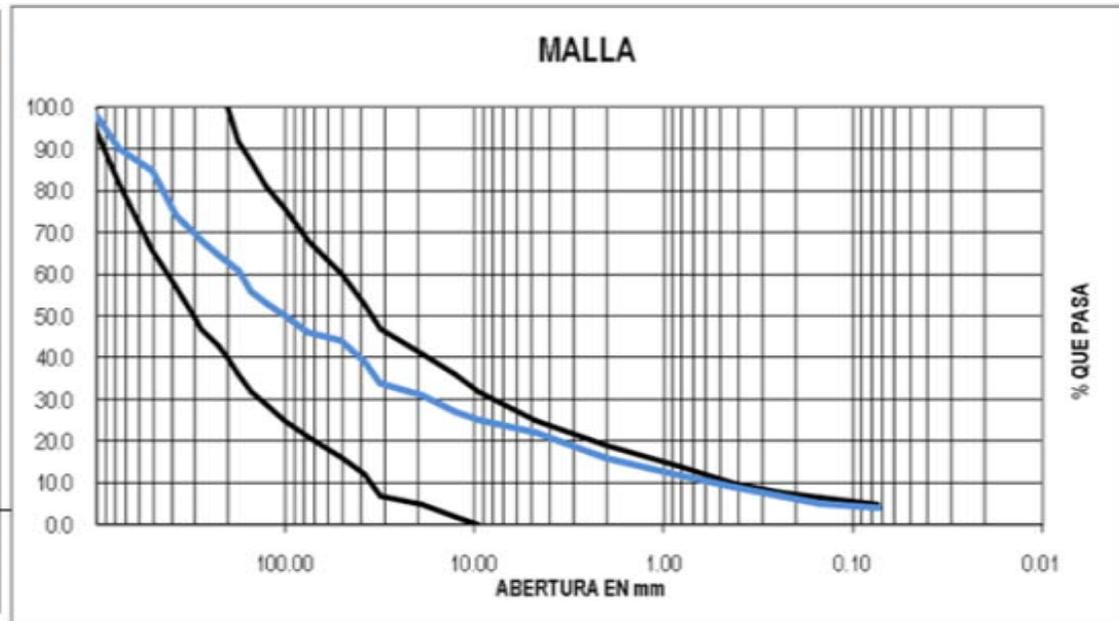
Datos del material

Muestra: N° 010/09

Banco de procedencia: BD-1MD

Fecha de muestreo: 10-Febrero-09

Malla	Abertura en mm	Límites		% Pasa muestra
		inf. %	sup. %	
43"	1090.00	100.0		100
40"	1000.00	94.0		98
30"	762.00	82.0		90
20"	508.00	66.0		85
15"	381.00	57.0		74
12"	305.00	50.0		70
11"	280.00	47.0		68
9"	229.00	43.0		65
8"	203.00	40.0	100.0	63
7"	178.00	36.0		61
6"	152.00	32.0	87.0	56
5"	127.00	29.0	81.0	53
4"	101.00	25.0	76.0	50
3"	76.20	21.0	68.0	46
2"	50.80	16.0	60.0	44
1 1/2"	38.10	12.0	53.0	39
1 1/4"	31.70	7.0	47.0	34
3/4"	19.00	5.0	41.0	31
1/2"	12.70	2.0	36.0	27
3/8"	9.50	0.0	32.0	25
n. 4	4.76		25.0	22
n. 10	2.00		19.0	16
n. 20	0.841		14.0	12
n. 40	0.420		10.0	9
n. 60	0.250		8.0	7
n. 100	0.149		6.5	5
n. 200	0.074		5.0	4



Referencias

Especificaciones
Obras civil P.H. La Yesca

Lugar: P.H. La Yesca

Realizo

Rojas Rodriguez Aldo Salvador

Nombre y firma

Fecha de emisión: 03-Febrero-09

Reviso

Ing. Sandra Enid Moreno Zuvin

Nombre y firma



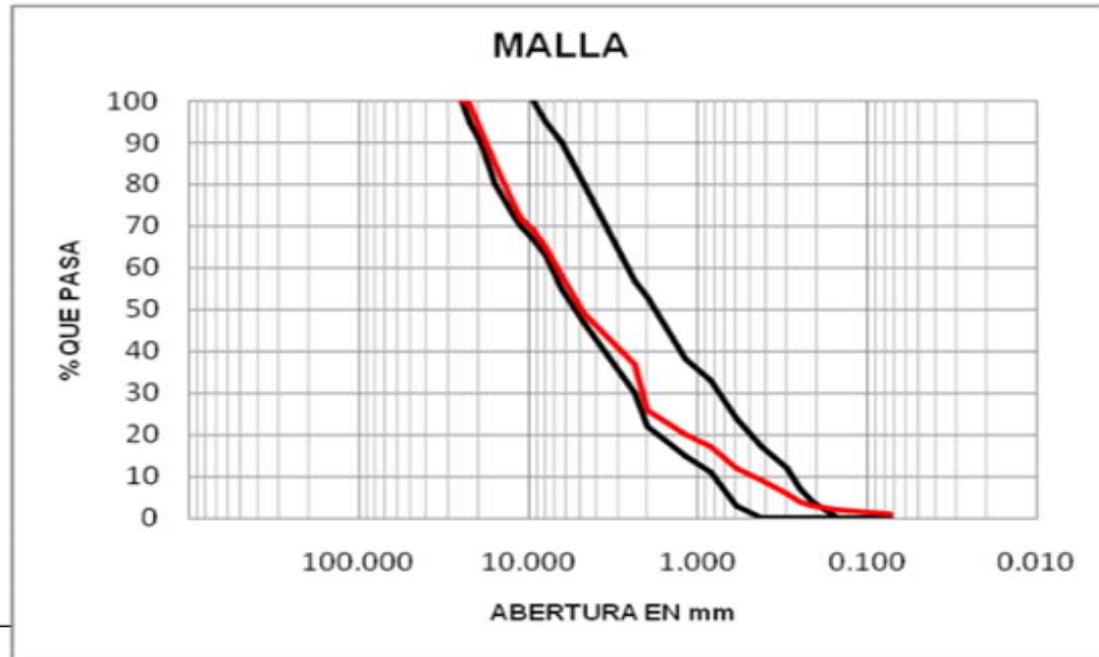
Informe de granulometría de material F para Cortina
 Datos del material

Muestra: N° 010/09

Banco de procedencia: Banda Transportadora Estabilizador

Fecha de muestreo: 22-Julio-09

Malla	Abertura en mm	Límites		% Pasa muestra
		MIN	MAX	
1"	25.000	100		100
7/8"	22.225	95		99
3/4"	19.000	90		93
5/8"	15.875	80		85
1/2"	12.500	73		76
7/16"	11.113	70		72
3/8"	9.500	67	100	69
5/16"	7.938	63	95	65
1/4"	6.350	55	90	58
n. 4	4.760	47	80	49
n. 8	2.380	30	57	37
n. 10	2.000	22	53	26
n. 16	1.190	15	38	20
n. 20	0.841	11	33	17
n. 30	0.595	3	24	12
n. 40	0.420	0	17	9
n. 50	0.297	0	12	6
n. 60	0.250	0	7	4
n. 70	0.210	0	4	3
n. 100	0.149	0	0	2
n. 200	0.074	0	0	1



Referencias

Especificaciones
 Obra civil P.H. La Yesca

Lugar: P.H. La Yesca

Realizo

Rojas Rodríguez Aldo Salvador

Nombre y firma

Fecha de emisión: 22-Julio-09

Reviso

Ing. Sandra Enid Moreno Zúviri

Nombre y firma



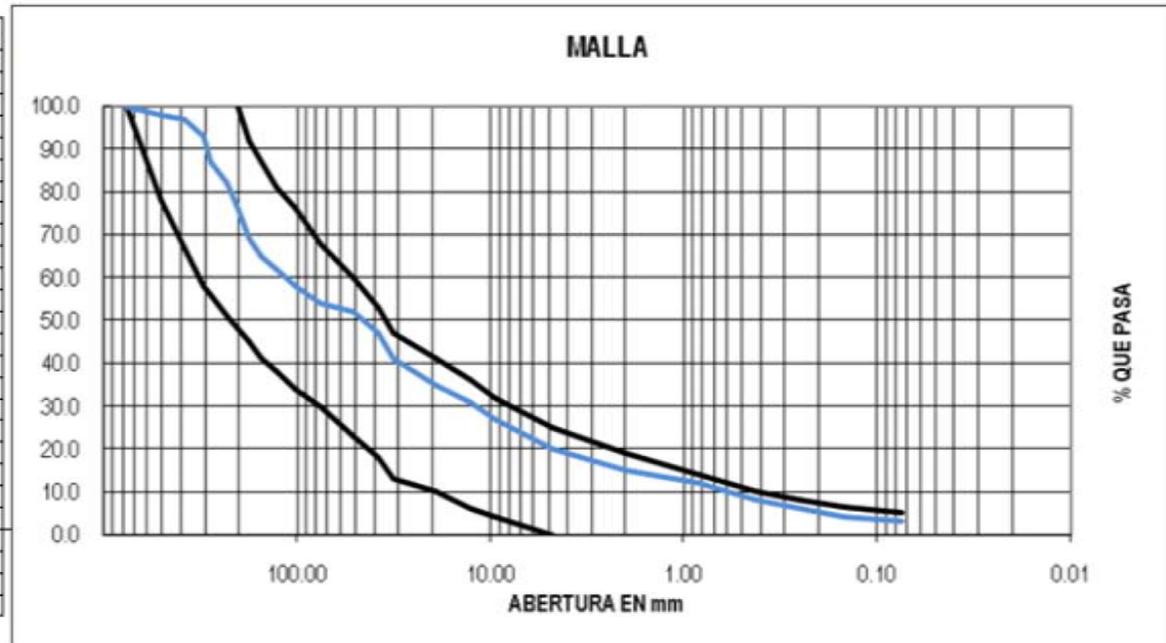
Informe de granulometría de material T para Cortina
 Datos del material

Muestra: N° 008/09

Banco de procedencia: BD-1MD

Fecha de muestreo: 10-Febrero-09

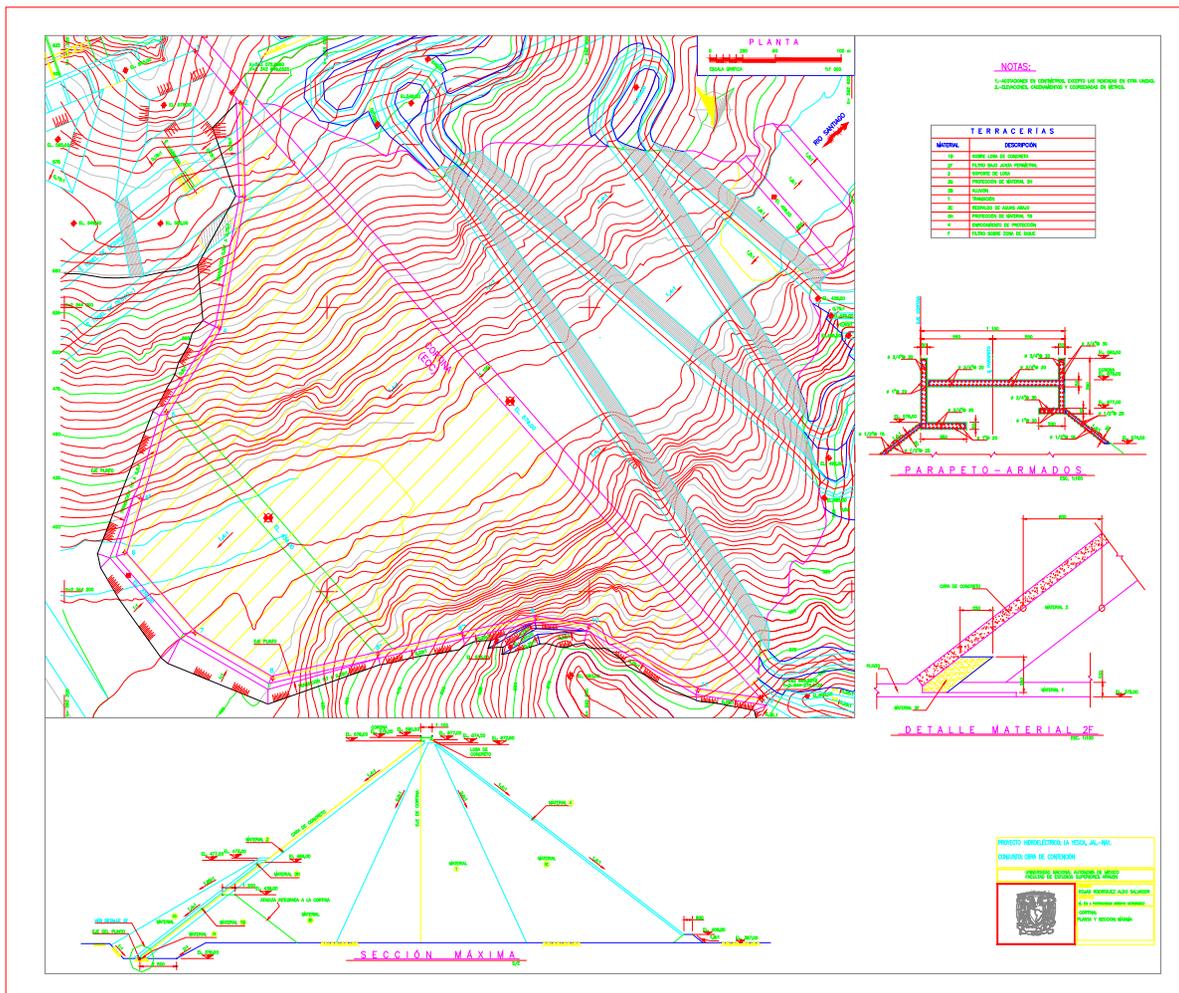
Malla	Abertura en mm	Límites		% Pasa muestra
		Inf.	Sup.	
30"	762.00	100.0		100
20"	508.00	78.0		98
15"	381.00	67.0		97
12"	305.00	58.0		93
11"	280.00	56.0		87
9"	229.00	51.0		82
8"	203.00	48.0	100.0	76
7"	178.00	45.0	92.0	69
6"	152.00	41.0	87.0	65
5"	127.00	38.0	81.0	62
4"	101.00	34.0	76.0	58
3"	76.20	30.0	68.0	54
2"	50.80	23.0	60.0	52
1 1/2"	38.10	18.0	53.0	47
1 1/4"	31.70	13.0	47.0	41
3/4"	19.00	10.0	41.0	35
1/2"	12.70	6.0	36.0	31
3/8"	9.50	4.0	32.0	27
n. 4	4.75	0.0	25.0	20
n. 10	2.00		19.0	15
n. 20	0.841		14.0	12
n. 40	0.420		10.0	8
n. 60	0.250		8.0	6
n. 100	0.149		6.5	4
n. 200	0.074		5.0	3

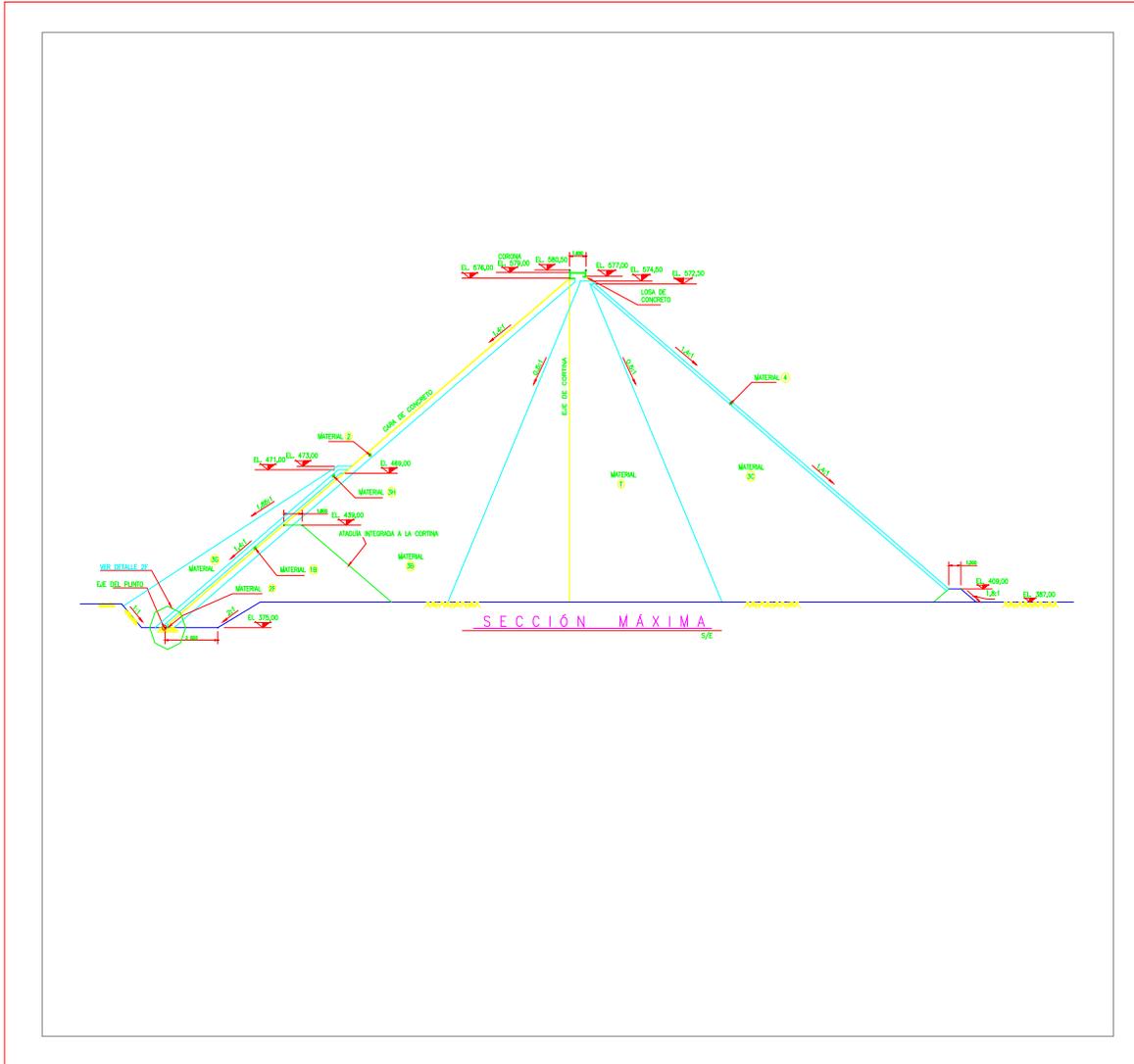


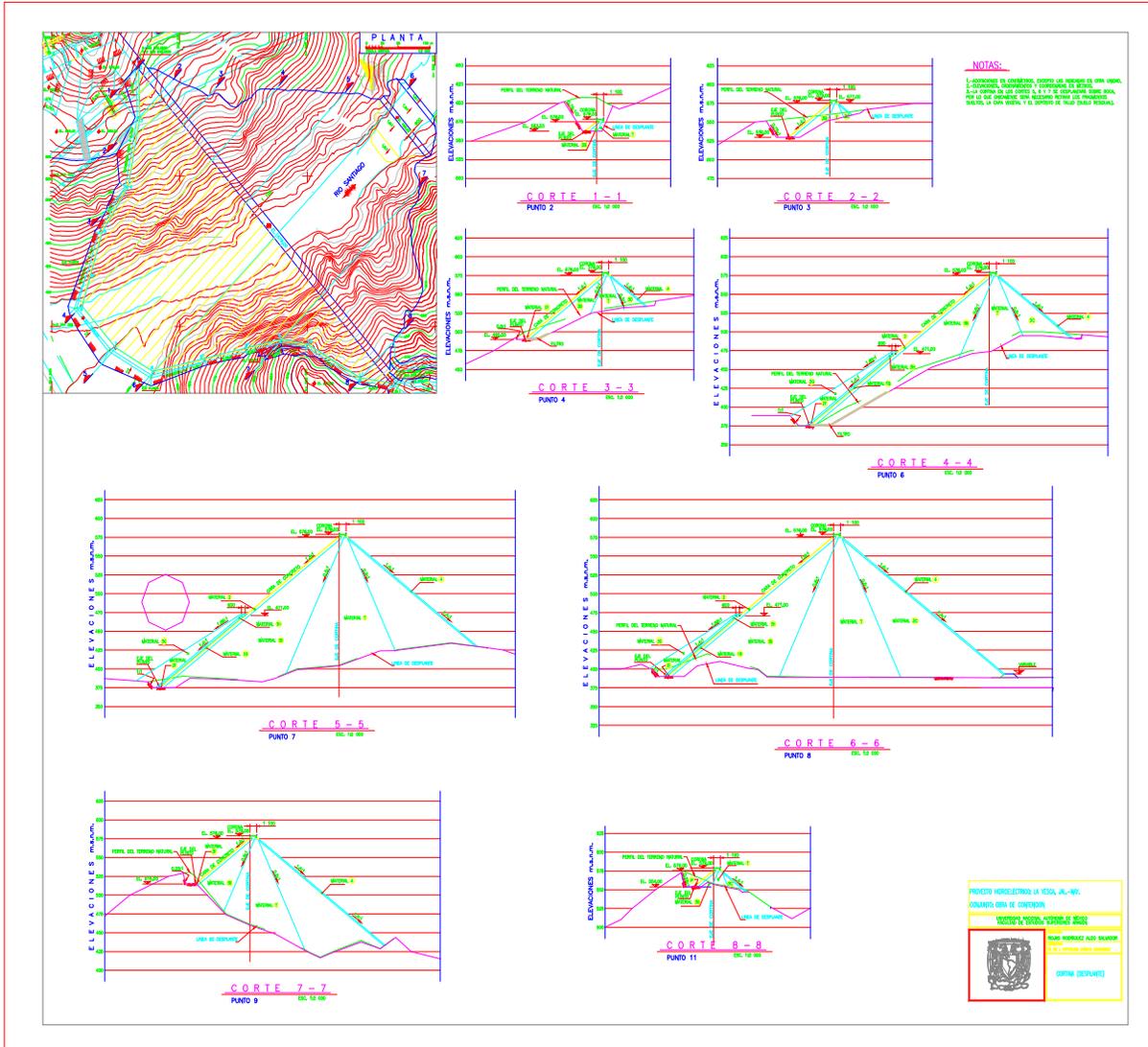
Referencias	Lugar: P.H. La Yesca	Fecha de emisión: 03-Febrero-09
	Realizo	Reviso
Especificaciones Obra civil P.H. La Yesca	Rojas Rodríguez Aldo Salvador	Ing. Sandra Enid Moreno Zuviri
	Nombre y firma	Nombre y firma



ANEXO B.









BIBLIOGRAFÍA.

1. Bueno, Francisco, *"Ingeniería de presas: presas de fábrica"*, Editorial Universidad de Cantabria, España, 2001.
2. Ingenieros Civiles Asociados, *"Especificaciones de construcción de obra civil del P.H. La Yesca. Capítulo 7"*, México 2006.
3. Rico, Alfonso, *"La ingeniería de suelos en las vías terrestres: carreteras, ferrocarriles y aeropistas" Volumen 1 y 2*, Editorial Limusa, México 1977.
4. Sánchez, Jorge, *"Manejo de residuos industriales: procedimientos y buenas prácticas de ingeniería para su almacenamiento, acopio y disposición fina"*, Serie de Ciencias tecnológicas, Editorial Universidad Autónoma de Aguascalientes, México 2003.
5. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, *"Normativa para la infraestructura del transporte libro: MMP. Métodos de muestreo y prueba de materiales"*, Editorial S.C.T., México 2000.

Referencias electrónicas.

1. <http://www.biblioteca.uson.mx/digital/tesis/docs/4254/Capitulo1.pdf>, México 2009
2. <http://www.construaprende.com/tesis03/> México 2009.